Государственное санитарно-эпидемиологическое нормирование Российской Федерации

2.6.5. Атомная энергетика и промышленность

Оптимизация радиационной защиты персонала предприятий госкорпорации «Росатом»

Методические указания
МУ 2.6.5.054–2017

Издание официальное

Москва
2018

gost.e-ecolog.ru

1. Разработаны:

ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России (к.т.н. Кочетков О.А. – руководитель разработки, к.т.н. Абрамов Ю.В., д.т.н. Клочков В.Н., к.ф.-м.н. Крючков В.П., Проскурякова Н.Л., Чижов К.А.);

МРНЦ им. А.Ф. Цыба (член-корр. РАН, д.т.н., профессор Иванов В.К. – руководитель разработки, Корело А.М., Чекин С.Ю.).

2. Рекомендованы к утверждению Подкомиссией по специальному нормированию ФМБА России (протокол от 11.10.2017 № 05/2017).

3. Утверждены заместителем руководителя ФМБА России, Главным государственным санитарным врачом ФМБА Романовым В.В. 11.10.2017.

4. Введение в действие:

Методические указания вводятся в действие поэтапно:

– с 01.01.2018 в отношении оптимизации радиационной защиты персонала предприятий Госкорпорации «Росатом», годовая эффективная доза облучения которого (по результатам предварительной оценки) может превысить 5 мЗв, а также в отношении оптимизации радиационной защиты персонала при выполнении кратковременных работ с планируемой эффективной дозой облучения свыше 2 мЗв за время выполнения работ;

– с 01.01.2019 в отношении оптимизации радиационной защиты персонала предприятий Госкорпорации «Росатом», годовая эффективная доза облучения которого (по результатам предварительной оценки) может превысить 2 мЗв.

5. С введением в действие настоящего документа с 01.01.2018 отменяются МР 30-1490-2001 «Оптимизация радиационной защиты персонала предприятий Минатома России».

Содержание

1. Область применения 152
2. Нормативные ссылки 152
3. Термины и определения 153
4. Общие положения 155
5. Внедрение принципа оптимизации радиационной защиты на предприятии 156
6. Рекомендации по проведению оптимизации 157
6.1. Постановка задачи 158
6.2. Задание вариантов и факторов 159
6.3. Представление результатов 162
6.4. Принятие решения 162
7. Оптимизация облучаемости персонала при радиационно-опасных работах 162
8. Планирование доз облучения персонала с использованием интегрального показателя радиационного риска 166
Приложение А 169
Приложение Б 179
Приложение В 187
Список литературы 188

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель руководителя Федерального медико-биологического агентства, Главный государственный санитарный врач по обслуживаемым организациям и обслуживаемым территориям ФМБА России

_____ В.В. Романов

«11» 10 _____ 2017 г.

Введение в действие – поэтапно с 01.01.2018

2.6.5. Атомная энергетика и промышленность

Оптимизация радиационной защиты персонала предприятий Госкорпорации «Росатом»

Методические указания

МУ 2.6.5.054 – 2017

1. Область применения

1.1. Настоящие Методические указания предназначены для проведения процедуры оптимизации радиационной защиты персонала в условиях нормальной эксплуатации источников ионизирующих излучений в организациях Госкорпорации «Росатом».

1.2. В настоящих Методических указаниях приведены общие положения, порядок и методы применения принципа оптимизации в организациях Госкорпорации «Росатом» в соответствии с требованиями Норм радиационной безопасности НРБ-99/2009 и Основных санитарных правил обеспечения радиационной безопасности ОСПОРБ-99/2010.

1.3. Методические указания предназначены для использования службами радиационной безопасности и лицами, ответственными за обеспечение радиационной безопасности персонала в организациях Госкорпорации «Росатом», межрегиональными управлениями и центрами гигиены и эпидемиологии ФМБА России.

2. Нормативные ссылки

Настоящие Методические указания разработаны в соответствии со следующими нормативными документами:

СанПиН 2.6.1.2523-09 – Нормы радиационной безопасности. НРБ-99/2009. Санитарные правила и нормативы. – М.: Роспотребнадзор, 2009.

СП-2.6.1.2612-10 – Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности. ОСПОРБ-99/2010. Санитарные правила и нормативы (в ред. Изменений №1, утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 16.09.2013 №43). – М.: Роспотребнадзор, 2010.

3. Термины и определения

ALARA просмотр — Системный просмотр отдельных технологических, либо ремонтных операций или установленных мер радиационной защиты для выявления областей, для которых требуется их улучшение и оптимизация радиационной защиты персонала

ALARA методология — Содержание и последовательность видов деятельности, а также анализ фактически выполненной деятельности на объекте по оптимизации радиационной защиты на базе принципа ALARA (от английского As Low As Reasonably Achievable – настолько низко, насколько разумно достижимо)
Применение методологии ALARA является одним из важных элементов культуры безопасности и Производственной Системы Росатома
Примечание – Методология ALARA воспринимается как система Управления работами на радиационном объекте для их оптимального планирования, подготовки, осуществления и контроля с целью поддержания дозы облучения на таком низком уровне, достижение которого оправдано

База данных — Совокупность данных, организованных по определенным правилам, предусматривающим общие принципы описания, хранения и манипулирования данными, независимая от прикладных программ [ГОСТ 20886-85]

Вариант радиационной защиты — Специальный проект защиты, или набор эксплуатационных процедур, или технология выполнения защитного мероприятия

Доза эффективная коллективная — Мера коллективного риска возникновения стохастических эффектов облучения; она равна сумме индивидуальных эффективных доз. Единица эффективной коллективной дозы – человеко-зиверт (чел.-Зв) [НРБ-99/2009]

Доза эффективная — 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: $\underset{T}{E} = \sum W_T \times H_T$, где H_T – эквивалентная доза в органе или ткани T; W_T – взвешивающий коэффициент для органа или ткани T
Единица эффективной дозы – зиверт (Зв) [НРБ-99/2009]

Защита радиационная — Защита людей от облучения в результате воздействия ионизирующих излучений и средства ее обеспечения

Методы оптимизации — Методы оценки различных вариантов защиты, выявления отличий между ними и выбора наилучшего варианта

Оптимизация защиты (и безопасности)	Процесс определения того, насколько уровень защиты и безопасности делает облучение настолько низким, насколько это разумно достижимо с учетом экономических и социальных факторов [Публикация 103 МКРЗ]
Персонал	Лица, работающие с техногенными источниками излучения (группа А), или работающие на радиационном объекте, или на территории его санитарно-защитной зоны, и находящиеся в сфере воздействия техногенных источников (группа Б) [НРБ-99/2009]
Принцип нормирования	Непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников излучения [НРБ-99/2009]
Принцип обоснования	Запрещение всех видов деятельности по использованию источников излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным облучением [НРБ-99/2009]
Принцип оптимизации	Поддержание на возможно низком и достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника излучения [НРБ-99/2009]
Процедура оптимизации	Установленный порядок решения задач оптимизации радиационной защиты
Работы радиационно-опасные	Работы в условиях фактической или потенциальной радиационной опасности, когда радиационная обстановка в месте проведения работ такова, что индивидуальная эффективная доза работника может превысить значение, равное 20 мЗв/год
Рекомендации	Документ в области стандартизации, метрологии, сертификации, содержащий добровольные для применения организационно-технические и (или) общетехнические положения, порядки (правила процедуры), методы (способы, приемы) выполнения работ соответствующих направлений, а также рекомендуемые правила оформления результатов этих работ
Риск радиационный	Вероятность возникновения у человека или его потомства какого-либо вредного эффекта в результате облучения [НРБ-99/2009]
Ущерб для здоровья	Математическое ожидание величины нанесенного вреда здоровью лицам, подвергшимся облучению, с учетом вероятности и тяжести последствий радиобиологических эффектов, как стохастических, так и детерминированных
Риск	«Вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан... с учетом тяжести этого вреда» [статья 2 Федерального закона «О техническом регулировании» от 27 декабря 2002 г. №184-ФЗ]

Годовой риск	Риск в течение года
Пожизненный риск	Риск в течение всей предстоящей жизни
Фоновый риск	Риск, обусловленный причинами, не связанными с профессиональным облучением ионизирующей радиацией (такими как эффекты природы, социальной среды обитания человека, образа жизни и другие)

Злокачественные новообразования:

Солидные злокачественные новообразования	Злокачественные новообразования у человека, за исключением злокачественных новообразований лимфатической и кроветворной тканей
Лейкоз	Болезнь кроветворной системы, характеризующаяся изменением строения, свойств и соотношения кровяных элементов

4. Общие положения

4.1. Радиационная безопасность персонала считается обеспеченной, если соблюдаются основные принципы радиационной безопасности (обоснование, оптимизация, нормирование) и требования радиационной защиты, установленные Федеральным законом «О радиационной безопасности населения» №3-ФЗ от 09.01.96 (Собрание законодательства Российской Федерации, 1996, №3, ст.141), НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010.

4.2. Контроль за реализацией основных принципов должен осуществляться путем проверки выполнения следующих требований:

– принцип обоснования должен применяться на стадии принятия решения уполномоченными органами при проектировании новых источников излучения и радиационных объектов, выдаче лицензий и утверждении нормативно-технической документации на использование источников излучения, а также при изменении условий их эксплуатации;

– принцип оптимизации предусматривает поддержание на возможно низком и достижимом уровне как индивидуальных (ниже пределов,установленных НРБ-99/2009), так и коллективных доз облучения, с учетом социальных и экономических факторов;

– принцип нормирования, требующий непревышения индивидуальных пределов доз и других нормативов радиационной безопасности, должен соблюдаться всеми организациями и лицами, от которых зависит уровень облучения людей.

4.3. Принцип оптимизации имеет важное практическое значение для обеспечения радиационной безопасности на всех этапах жизнедеятельности радиационно-опасного объекта.

4.4. В условиях нормальной эксплуатации источника излучения или условий облучения оптимизация (совершенствование защиты) осуществляется при уровнях облучения в диапазоне от соответствующих пределов доз до достижения пренебрежимо малого уровня – 10 мкЗв в год индивидуальной дозы.

4.5. Процесс оптимизации учитывает как технические, так и социально-экономические достижения и требует вынесения как качественных, так и количественных суждений. Оптимизация – это образ мышления, когда ставится вопрос, всё ли возможное в превалирующих обстоятельствах было сделано, и всё ли из того, что было сделано, является разумным, для снижения доз.

4.6. Оптимизация защиты не есть минимизация дозы. Оптимизированная защита – это результат работы по совершенствованию защиты облучаемых лиц на основе установления баланса вреда от облучения и ресурсов, необходимых для защиты.

4.7. Оптимизацию следует проводить как непрерывный циклический процесс, который включает в себя оценку ситуации облучения для:

– оценки необходимости принятия мер (ограничение рамок процесса);

– определения возможных вариантов защиты для поддержания облучения настолько низким, насколько это возможно с учетом экономических и социальных факторов;

– выбора наилучшего варианта с учетом превалирующих обстоятельств;

– реализации выбранного варианта с помощью программы эффективной оптимизации;

– периодического рассмотрения ситуации облучения для оценки, требуют ли превалирующие обстоятельства проведения скорректированных защитных мероприятий.

4.8. Согласно п.2.2. НРБ-99/2009 минимальным расходом на совершенствование защиты, снижающей коллективную эффективную дозу на 1 чел.-Зв, считается расход, равный одному годовому душевому национальному доходу (величина альфа, принятая в международных рекомендациях).

5. Внедрение принципа оптимизации радиационной защиты на предприятии

5.1. Принцип оптимизации на предприятии (в организации) реализуют службы и лица, ответственные за организацию и обеспечение радиационной безопасности на объектах предприятий.

5.2. Организационными структурами, которые призваны обеспечить внедрение принципа оптимизации, могут являться:

– комитет по оптимизации (комитет ALARA);

– группа оптимизации (группа ALARA).

Состав и функции этих структур определяются в распорядительных документах предприятия.

5.2.1. Комитет по оптимизации осуществляет управление и координацию процессом оптимизации на предприятии (в организации), формирует стратегию и политику оптимизации, разрабатывает программы оптимизации. В его состав входят руководители основных подразделений и представители администрации предприятия (организации).

5.2.2. Для руководства разработкой и контролем конкретных мероприятий по реализации методологии оптимизации (ALARA методологии) при главном инженере (техническом директоре) создаётся группа оптимизации на основе службы РБ.

В задачи группы оптимизации входит рассмотрение вопросов планирования и проведения радиационно-опасных работ, включая:

– проведение оптимизационных исследований, включая просмотр ALARA объекта с целью выявления недостатков в обеспечении радиационной безопасности и определения области, где улучшение может быть полезным;

– создание и наполнение баз данных для оптимизации (при создании баз данных желательно не ограничиваться дозиметрическими данными; очень полезно иметь информацию о выполненных конкретных мероприятиях с оценкой их эффективности);

– проведение процедуры оптимизации;

– способы вовлечения персонала в планирование работ;

– подготовку к радиационно-опасным работам;

– контроль выполнения защитных мероприятий;

– анализ и оценку результатов, учет полученного опыта;

– подготовку отчетов с информацией о выполненных конкретных мероприятиях с оценкой их эффективности.

5.2.3. Руководители структурных подразделений в рамках своих полномочий:

– предоставляют предложения в программу оптимизации, устанавливают цели и задачи;

– осуществляют контроль выполнения программы оптимизации, анализ накопленного опыта и определяют корректирующие мероприятия;

– координируют деятельность своих подразделений по методологии оптимизации (ALARA методологии);

– при привлечении к выполнению работ подрядных организаций принимают во внимание степень внедрения принципа оптимизации в этих организациях;

– планируют и анализируют результаты облучения персонала;

– проводят просмотры ALARA при обходах закрепленных рабочих мест, орудий труда и оборудования для снижения дозовых нагрузок на персонал и выявления неэффективных мер защиты;

– проводят обучение персонала.

5.3. Для стимулирования внедрения оптимизации, критического подхода и стремления к знаниям в вопросах радиационной безопасности необходимо прививать и поддерживать культуру безопасности, которая обеспечивает:

– использование принципов оптимизации как основы управления радиационной безопасностью;

– немедленное выявление и решение проблем, влияющих на защиту и безопасность, в соответствии с основными принципами радиационной безопасности;

– четкое распределение обязанностей каждого лица в области обеспечения радиационной безопасности и наличие у каждого лица надлежащей подготовки и квалификации;

– четкое разграничение полномочий в принятии решений по вопросам безопасности;

– принятие организационных мер по обеспечению обмена соответствующей информацией, касающейся безопасности.

Для стимулирования персонала при внедрении методологии оптимизации на предприятии (в организации) следует широко использовать все возможности производственной системы «Росатом» (ПСР) и единой унифицированной системы оплаты труда (ЕУСОТ) в Госкорпорации «Росатом».

5.4. Подготовка и обучение касаются не только специалистов, занимающихся обеспечением радиационной безопасности, но и всего персонала, работающего с источниками ионизирующего излучения.

6. Рекомендации по проведению оптимизации

Процедура оптимизации радиационной защиты заключается в последовательном выполнении по определенным правилам ряда этапов. Общая схема, иллюстрирующая эти этапы, приведена на Рисунке 1.

В полном объёме процедура оптимизации организуется и проводится администрацией подразделения, осуществляющего обращение с ИИИ, и применяется, как правило, для решения задач, связанных с расширением или модернизацией производства.

Для решения текущих задач вполне достаточно проведения отдельных этапов.



Рисунок 1 - *Основные шаги процедуры оптимизации*

6.1. Постановка задачи

Перед началом проведения оптимизационных исследований необходимо точно поставить задачу с целью исключения напрасных усилий и ресурсов в выполнении последующего анализа.

Постановка задачи включает четыре этапа:

– осознание сути задачи;

– определение цели исследования;

– определение границ области исследования;

– проведение консультаций и окончательная формулировка задачи.

6.1.1.Осознание сути задачи

На этом этапе необходимо оценить сложность задачи, ее статус с точки зрения уровня принятия решения, время и средства, требуемые для ее решения.

По сложности все задачи можно условно разбить на четыре группы:

– простые задачи, не требующие специальных организационных и технических мероприятий;

– относительно простые задачи, требующие некоторых вычислений и включающие малое число факторов;

– сложные задачи, требующие серьезных расчетов и усилий специалистов различного профиля;

– стратегические задачи – задачи с серьезным социальным и политическим значением.

Статус задач определяется уровнем принятия окончательного решения:

– самим специалистом, проводящим исследование;

– начальником службы радиационной безопасности объекта или предприятия (организации);

– руководителем предприятия (организации);

– руководителями более высокого ранга.

Постановка задачи позволит определить необходимость проведения дальнейших шагов оптимизации, если решение задачи не очевидно для опытного специалиста в области радиационной безопасности, и обозначить круг специалистов других специальностей (экономистов, технологов, конструкторов и т. д.), которых следует привлечь к исследованиям.

6.1.2. Определение цели исследования

Следует точно и недвусмысленно определить и записать цель исследования с определенным уровнем детализации. Это особенно важно в случаях, когда оптимизационное исследование проводят одни, а решение принимают другие лица.

6.1.3. Определение границ области исследования

Необходимо четко определить, что должно входить в оптимизационный анализ и что остается за его пределами, в том числе:

– необходимо ли рассмотрение доз облучения других групп персонала;

– каковы ограничения финансовых ресурсов, которые могут быть израсходованы для решения задачи и как они соотносятся с ожидаемыми затратами на внедрение защитной меры;

– какие уровни точности и детализации необходимы при проведении анализа.

6.1.4. Проведение консультаций и окончательная формулировка задачи

Чтобы убедиться, что задача поставлена правильно, необходимо проконсультироваться со специалистом, принимающим решение, а при необходимости и с руководителем более высокого ранга. Если постановка задачи будет признана правильной, ее следует оформить документально. Только после этого можно будет приступать к дальнейшему анализу.

6.2. Задание вариантов и факторов

6.2.1. Варианты радиационной защиты

Варианты представляют собой альтернативные действия, направленные на радиационную защиту, являющиеся возможными решениями задачи. Вариант радиационной защиты имеет целью снижение дозы облучения (коллективной или индивидуальной), снижение вероятности облучения или снижение затрат на защиту при условии непревышения достигнутого уровня безопасности персонала.

Обобщенным показателем уровня безопасности установок, технологий, организации производства и культуры безопасности применительно к конкретным людям является индивидуальная доза (Рисунок 2).

Индивидуальная доза облучения персонала зависит от следующих параметров на рабочих местах и в рабочих помещениях:

– мощности дозы внешнего гамма-нейтронного излучения;

– объемной активности радионуклидов в воздухе;

– времени облучения.

Ключевым параметром оптимизации защиты персонала является коллективная эффективная доза. Коллективная доза определяется как сумма индивидуальных доз персонала, т. е. зависит как от величины индивидуальных доз, так и от численности персонала.

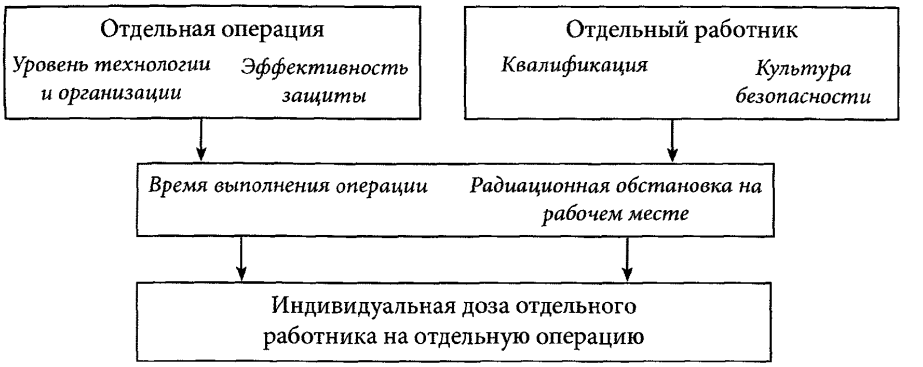


***Рисунок 2** - Схема формирования индивидуальной дозы отдельного работника*

В связи с этим варианты радиационной защиты должны быть связаны с уменьшением указанных выше составляющих.

Снижение мощности дозы на рабочих местах и в рабочих помещениях может быть достигнуто путем:

– установки дополнительной биологической защиты;

– применения дистанционного инструмента и приспособлений;

– снижения мощности источника излучения на период проведения работ;

– дезактивации рабочего места и помещения до начала работы, когда значимо внешнее облучение от поверхностного радиоактивного загрязнения.

При наличии ингаляционного пути воздействия необходимо рассмотреть использование дополнительных средств индивидуальной защиты и варианты, связанные со снижением объемной активности радионуклидов в рабочем помещении (например, с помощью принудительной вентиляции или применением мер, снижающих утечки радионуклидов из источника, в т. ч. герметичных боксов и вытяжных шкафов).

Снижение времени облучения обычно достигается за счет оптимизации регламента работ, эффективного управления работами, использованием более совершенных рабочих средств и специальным обучением персонала.

Дозовых затрат персонала можно избежать, если отказаться (с оформлением в установленном порядке) от выполнения какой-то части работы. Важным правилом процедуры выбора работ является: «Никогда не выполнять работы, в которых нет необходимости».

В Разделе 6 подробно рассмотрен процесс проведения оптимизации облучения персонала при планировании и проведении запланированных радиационно-опасных работ.

Уменьшение численности облучаемого персонала достигается внедрением автоматических устройств или робототехники, пересмотром периодичности выполнения работ и т. д.

При проектировании зданий располагать помещения разных классов в разных частях здания или в отдельных зданиях. В эксплуатируемых зданиях и помещениях рассмотреть возможность перераспределения маршрутов перемещения персонала в течение рабочей смены.

Для ситуаций, когда индивидуальные дозы близки или могут превысить дозовые пределы или контрольные уровни, следует рассмотреть также варианты увеличения численности персонала или его ротации в соответствии с дозовыми нагрузками на рабочих местах.

6.2.2 Факторы в вариантах радиационной защиты

Фактор, используемый в оптимизационной задаче, определяется как некоторая мера или качество, с помощью которого различаются варианты радиационной защиты.

Основными факторами в любой оптимизационной задаче являются:

– затраты на осуществление варианта защиты, включая прямые капитальные затраты, косвенные основные расходы и эксплутационные расходы;

– дозы облучения (коллективные и/или индивидуальные, их распределение во времени и т. п.).

В отдельных случаях могут быть значимы и другие факторы, например, угроза физического увечья от нерадиационных факторов, неудобства в работе при использовании средств индивидуальной защиты и т. п.

6.2.3. Составление перечня вариантов и факторов

На стадии эксплуатации практическими задачами оптимизации могут быть:

– проверка соответствия предлагаемого варианта радиационной защиты принципу оптимизации;

– проверка соответствия действующей системы обеспечения радиационной безопасности принципу оптимизации;

– снижение индивидуальных или коллективных доз облучения определенной группы персонала.

В Разделе 8 описана процедура планирования оптимальных доз облучения с использованием интегрального показателя риска.

В первом случае варианты уже заданы: существующий и новый предлагаемый.

В остальных случаях необходимо рассмотреть возможные варианты и определить оптимальный вариант.

Подход к формированию списка вариантов может быть следующим:

– вся работа выбранной группы персонала разбивается на элементарные эпизоды, различающиеся по месту и условиям работы, длительности работы, путям радиационного воздействия, дозам облучения и т. п.

– оцениваются дозы облучения при выполнении работы в этих эпизодах (индивидуальные и коллективные), и отбираются эпизоды, при которых формируются основные дозовые нагрузки.

Результаты оценок доз рекомендуется представить в следующем табличном виде.

Эпизод работы	Место работы	Источники излучения	Факторы радиационного воздействия	Продолжительность работы	Доза облучения	Условия работы (степень комфортности)	Используемые средства защиты (степень автоматизации работы)

– в выбранных эпизодах работы рассматриваются возможные меры по снижению доз облучения. Для этого рекомендуется использовать метод «мозгового штурма», т. е., когда эксперты предлагают не только очевидные варианты, но и менее очевидные, а может быть, на первый взгляд, и невыполнимые. На этом этапе важно зафиксировать все варианты и факторы без анализа их значимости и возможности осуществления.

– после составления исчерпывающего списка он делится на два (один – со всеми возможными факторами, другой – со всеми возможными вариантами) и детально обсуждается с целью определения только осуществимых вариантов и значимых по мнению экспертов факторов, которые будут использованы в последующем анализе. Отобранные варианты могут представлять варианты снижения доз в отдельном эпизоде работы или комбинацию вариантов защиты в нескольких эпизодах работы рассматриваемой группы персонала.

В составленный перечень вариантов и значимых факторов могут попасть варианты, выходящие за установленные границы исследования, или предполагающие более высокий уровень принятия решения, чем предполагалось при постановке задачи. Поэтому необходимо проконсультироваться с руководителем, принимающим решение, и при необходимости с другими экспертами или администрацией предприятия (организации).

6.3. Представление результатов

При представлении результатов оптимизации для принятия окончательного решения должны быть коротко и понятно отражены все этапы оптимизации, в том числе:

– цель исследования;

– обоснование выбора контингента персонала;

– источники информации, использованной при исследовании;

– рассмотренные варианты защиты и обоснование их выбора для последующего анализа;

– рассмотренные факторы и обоснование их значимости;

– обоснование выбора метода поддержки принятия решений;

– специалисты, привлеченные для экспертных оценок;

– использованные методы для расчетов дозовых величин;

– результаты, полученные при исследовании (оптимальный вариант защиты);

– обоснование проведения дополнительных исследований (при необходимости).

Четкое представление результатов особенно важно в случаях, когда процесс исследования и принятия решения осуществляется различными лицами.

6.4. Принятие решения

Применение процедуры оптимизации приводит к получению оптимального результата с различными оговорками. Поэтому в большинстве случаев результат оптимизации не является конечным решением и может рассматриваться как рекомендация, помогающая ответственному лицу принять оптимальное решение.

Окончательное решение всегда остается прерогативой специалиста, ответственного за его принятие.

7. Оптимизация облучаемости персонала при радиационно-опасных работах

Работы в условиях фактической или потенциальной радиационной опасности (радиационно-опасные работы) должны планироваться на основании принципа оптимизации для предотвращения необоснованного облучения и разработки мероприятий по снижению дозовых нагрузок на персонал.

Реализация принципа оптимизации естественным образом аккумулирует в себе почти все аспекты проявления человеческого фактора в формировании уровня безопасности на предприятии (в организации), в том числе: обучение и тренировка персонала, планирование доз облучения в предстоящих работах, анализ и расследование нестандартных ситуаций, планирование и выполнение дополнительных локальных защитных мероприятий в местах выполнения радиационно-опасных работ и т. д.

Краткое описание процедуры оптимизации

Процесс оптимизации является непрерывной процедурой, которая осуществляется на различных этапах выполнения радиационно-опасных работ:

– планирования работы;

– подготовки к работе;

– выполнения работы;

– анализа и оценки результатов работы при постоянном вовлечении персонала в процедуру оптимизации облучения, см. Рисунок 3.

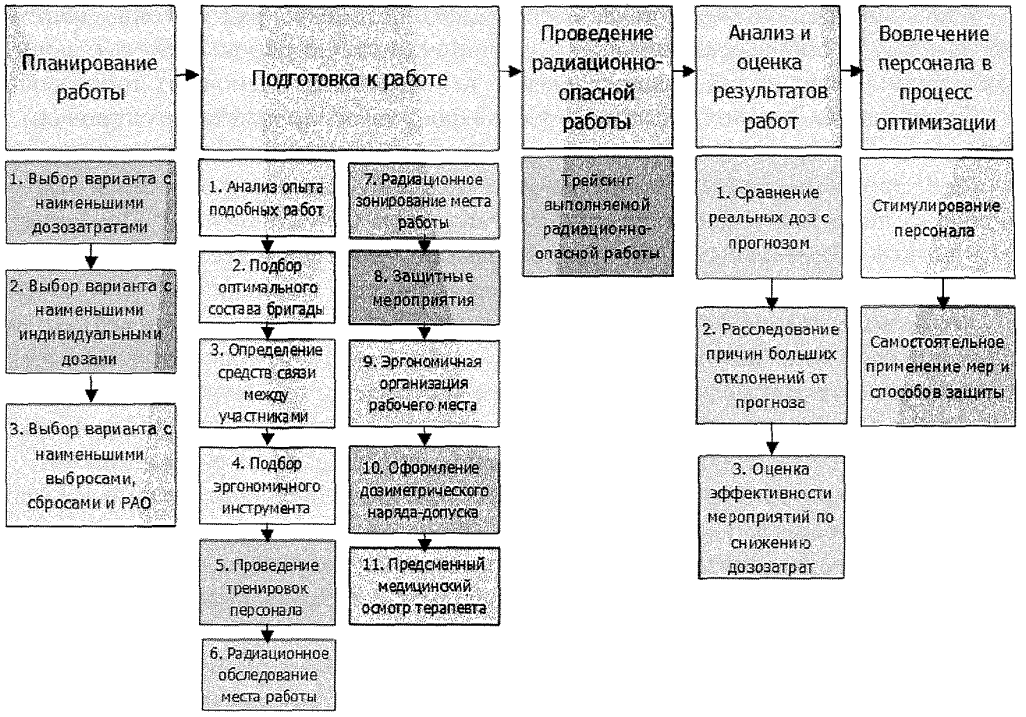


***Рисунок 3** - Реализация принципа оптимизации при проведении радиационно-опасных работ на предприятии (в организации) при отсутствии дополнительных капитальных вложений*

7.1. На этапе планирования конкретных радиационно-опасных работ должны быть рассмотрены различные варианты их выполнения. Преимущество должны иметь те варианты проведения работ, которые при отсутствии дополнительных капитальных вложений обеспечивают минимальные индивидуальные и коллективные дозы, выбросы и сбросы радиоактивных веществ, а также минимальное количество образующихся радиоактивных отходов.

7.2. На этапе подготовки к работе должны выполняться следующие действия.

7.2.1. Предварительный анализ имеющегося опыта проведения аналогичных работ с целью выработки мероприятий по ограничению доз облучения персонала.

7.2.2. Подбор оптимального численного и персонального состава бригады для проведения работы. Подбор следует проводить с учетом уровня подготовки, квалификации и опыта исполнителей. Оптимальная численность бригады – это минимальное число рабочих, способных выполнить работу в отведенное время.

7.2.3. Определение средств взаимодействия членов бригады между собой, с руководством и службой радиационной безопасности, обеспечивающей радиационный контроль при проведении работ.

7.2.4. Подбор оптимального эргономического инструмента и оборудования (включая телевизионную технику, захваты, манипуляторы, средства автоматизации и пр.).

7.2.5. Проведение тренировок персонала на радиационно-чистом оборудовании (специальных тренажерах) для отработки безопасных способов выполнения рабочих операций.

7.2.6. Радиационное обследование места проведения предполагаемых работ.

7.2.7. Зонирование территории. Выделение зон для перерывов в работе персонала (в зоне минимального воздействия источников ионизирующего излучения).

7.2.8. Защитные мероприятия, в том числе: установка радиационно-защитных экранов и матов, оборудование дополнительной вентиляции, проведение необходимой дезактивации поверхностей, пылеподавление, использование пленочных покрытий.

По завершению выполнения защитных мероприятий проводится контроль их выполнения.

7.2.9. Эргономика организации рабочего места за счет качественного и быстрого выполнения подготовительных операций:

– подбор оптимальных СИЗ, обеспечивающих необходимый коэффициент защиты, не ухудшающих при этом условия проведения работы;

– создание соответствующей освещенности, обеспечение оптимального микроклимата, устранение возможных механических помех и опасных производственных факторов, которые могут привести к травмированию персонала;

– выбор наиболее радиационно-безопасных маршрутов к месту проведения работ, а также участков с наименьшими показателями мощности дозы на рабочем месте.

При необходимости разрабатываются специальные инструкции по порядку проведения работ и их безопасному выполнению.

7.2.10. Расчет разрешенной дозы, допустимого времени работы, контрольных уровней воздействия радиационных факторов и оформление наряда-допуска на проведение радиационно-опасных работ.

7.2.11. Прохождение персоналом перед началом работы в радиационно-опасных условиях обязательного предсменного медицинского осмотра у врача (фельдшера).

7.3. Этап выполнения работ

Важными элементами, направленными на соблюдение принципа оптимизации на этапе выполнения работ являются:

– строгое соблюдение положений наряда-допуска на выполнение радиационно-опасных работ, регламентирующего условия безопасного проведения работ;

– обеспечение возможности проведения персоналом самоконтроля доз облучения с помощью оперативных прямопоказывающих дозиметров;

– осуществление контроля за радиационной обстановкой в месте проведения работ;

– при наличии сложной и/или изменяющейся радиационной обстановки – осуществление контроля за ходом выполнения работ со стороны дежурного дозиметриста или специалиста службы радиационной безопасности, руководителя работ и, при необходимости, руководителя подразделения;

– выполнение работ в местах с минимальным уровнем радиационного фона;

– осуществление контроля за радиоактивным загрязнением рабочих инструментов и проведение их своевременной дезактивации;

– обеспечение правильного применения средств индивидуальной защиты;

– осуществление контроля за допуском и временем нахождения в зоне выполнения работ каждого работника;

– создание условий, при которых во время выполнения работы на рабочих местах находится только персонал, присутствие которого необходимо;

– пребывание персонала во время перерывов в зонах минимального воздействия ионизирующего излучения;

– сокращение «транзитных доз» – доз облучения, получаемых персоналом при перемещениях вне рабочего места.

7.4. Заключительной стадией проведения работ в соответствии с принципом оптимизации является этап анализа выполненных работ и учета полученного опыта. Результаты анализа выполненных работ должны учитываться при планировании будущих работ, обеспечивая этим непрерывность процесса совершенствования выполнения работ.

7.4.1. Для достижения оптимальных результатов в организации работ должны использоваться оба существующих уровня анализа выполненных работ и учета полученного опыта:

a) «внутренний» уровень, который включает в себя анализ работ, выполненных на своем предприятии (организации);

b) «внешний» уровень, включающий в себя обмен информацией о результатах выполнения работ на аналогичных предприятиях (организациях).

7.4.2. Анализ выполненных работ особенно важен для часто повторяющихся работ. Все результаты выполнения таких работ должны анализироваться, заноситься в базу данных и использоваться при подготовке и планировании работ в будущем.

7.4.3. При анализе выполненных работ исключительно важным является учет замечаний и предложений от работников, принимавших непосредственное участие в выполнении работы. Сбор такой информации должен быть организован на основе заранее разработанных вопросников.

7.4.4. Анализ выполненных работ должен быть многоплановым и комплексным. Дозовые показатели персонала (индивидуальные и коллективные дозы) должны рассматриваться во взаимосвязи с другими показателями:

– временем выполнения работ;

– количеством персонала, принимавшего участие в выполнении работ;

– объемом повторных работ;

– продолжительностью задержек в работе.

Цель такого многопланового анализа – установить, какая часть работы была выполнена оптимальным образом, а какая требует определенной корректировки.

7.4.5. Основной задачей анализа дозовых показателей выполненной работы является:

– установление причин и условий получения дозы персоналом;

– определение недостатков в организации выполнения радиационно-опасных работ;

– определение эффективности и, при необходимости, корректировка реализованных при выполнении работ организационных и технических мероприятий.

7.4.6. Анализ дозовых показателей должен проводиться руководителями подразделений, специалистами группы оптимизации и службами радиационной безопасности.

7.4.7. По итогам выполнения работ, относящихся к категории радиационно-опасных, группой оптимизации совместно с руководителями подразделений должен быть подготовлен отчет, содержащий:

– сравнение реальных и запланированных дозовых показателей;

– анализ причин их расхождения;

– учет положительного опыта;

– предложения по совершенствованию выполнения аналогичных работ и снижению доз облучения персонала.

7.5. Вовлечение персонала в процесс реализации принципа оптимизации

Для персонала должны быть созданы условия, при которых работники осознанно выбирают такие способы, приемы и организацию работ, которые способствуют достижению наивысших показателей по качеству и безопасности при минимальных затратах времени на выполнение работы. Персонал должен самостоятельно применять меры и способы защиты от ионизирующих излучений, такие как:

– защита расстоянием;

– защита временем;

– правильное использование всех видов СИЗ;

– использование средств автоматизации, приспособлений и оснастки;

– использование экранов (естественных и переносных).

Активная и эффективная потребность персонала в самостоятельном применении мер и способов защиты от ионизирующих излучений может быть обусловлена проведением регулярных виртуальных тренировок персонала.

Принцип оптимизации имеет отношение только к будущему облучению персонала, т. к. только в этом случае можно говорить о многовариантности облучения. Выбор варианта облучения в полной мере может быть реализован средствами виртуальной реальности. Иными словами, инструментом для реализации принципа оптимизации на данном предприятии (организации) может служить виртуальная реальность (ВР) территории и помещений производственного комплекса с динамической визуализацией радиационной обстановки (РО). В настоящее время технология создания ВР достаточно развита для практического применения в целях оптимизации облучения персонала.

Виртуальная реальность (ВР) должна перевести РО из разряда невидимых психологических стрессоров в непосредственно воспринимаемый стрессор, снижая тем самым неопределенности в оценке радиационного риска тех или иных производственных операций. Кроме того, ВР должна позволять создавать различные сценарии выполнения работ и моделировать их на компьютере с численной оценкой радиационных последствий для исполнителей этих работ для каждого сценария. Программное обеспечение по созданию виртуальной реальности (ПОВР) должно оперировать как с данными измерений РО, выполненными персоналом службы РБ предприятия (организации), так и моделировать РО по информации об активности, радионуклидном составе и геометрии источников излучения. ПОВР должно содержать в своем составе мощный аналитический блок, предназначенный для поддержки принятия решений.

ПОВР может состоять из нескольких программных продуктов с интерфейсами, дружественными друг к другу.

Для создания условий осознанного выбора персоналом оптимальных условий работы в ПОВР применяются функции трекинг-контроля за персоналом во время выполнения радиационно-опасных работ.

Более детально структура и возможности ПОВР описаны в Приложении А.

8. Планирование доз облучения персонала с использованием интегрального показателя радиационного риска

8.1. Индекс безопасности планируемого облучения

Состояние радиологической безопасности в организации контролируется с помощью интегрального показателя радиационного риска – индекса безопасности планируемого облучения (ИБПО). Значение ИБПО может изменяться в диапазоне 0–100%. Чем больше значение ИБПО, тем выше уровень радиологической безопасности.

Для обоснования расходов на радиационную защиту при реализации принципа оптимизации принимается, что снижение ИБПО в организации на 1% приводит к потенциальному ущербу, равному потере в среднем 1 чел.-года жизни на каждые 100 лиц из персонала, для которого оценивается уровень радиологической безопасности. Величина денежного эквивалента потери 1 чел.-года жизни устанавливается отдельными документами федерального уровня в размере не менее 1 годового душевого национального дохода.

Значение ИБПО вычисляется по формуле:

$$\text{ИБПО} = 50\% \times I_1 + 30\% \times I_2 + 20\% \times I_3,$$

где I_1, I_2, I_3 – показатели, характеризующие уровень радиологической безопасности.

Показатель I_1 характеризует уровень радиологической безопасности через 2 года после года $Г$, на который планируется доза облучения:

$$I_1 = \frac{0,7}{1 + \frac{\sum_{j=1}^{N} P_j(Г+2)}{0,1 \times \sum_{j=1}^{N} Ф_j(Г+2)}} + 0,3 \times \left(\frac{N - K(Г-2)}{N} \right),$$

где

N – число лиц персонала, для которого оценивается уровень радиологической безопасности;

$P_j(Г+2)$ – годовой индивидуальный радиационный риск заболеваемости злокачественными новообразованиями j-го лица из персонала. Методика расчета годового индивидуального радиационного риска приведена в Приложении Б. Риск рассчитывается с учетом накопленных годовых доз и планируемой годовой дозы;

$Ф_j(Г+2)$ – годовой индивидуальный фоновый риск заболеваемости злокачественными новообразованиями j-го лица из персонала. Календарный год, на который рассчитывается риск, на 2 года больше, чем календарный год, на который планируется доза облучения;

$K(Г+2)$ – число лиц, у которых годовой индивидуальный радиационный риск $P_j(Г+2)$ больше, чем 0,001.

Показатель I_2 характеризует уровень радиологической безопасности через 10 лет после года $Г$, на который планируется доза облучения:

$$I_2 = \frac{0,7}{1 + \frac{\sum_{j=1}^{N} P_j(Г+10)}{0,1 \times \sum_{j=1}^{N} Ф_j(Г+10)}} + 0,3 \times \left(\frac{N - K(Г+10)}{N} \right).$$

Временные интервалы 2 года и 10 лет выбраны из условия их равенства минимальным скрытым периодам развития радиационно-индуцированных лейкозов и солидных злокачественных новообразований, соответственно.

Показатель I_3 характеризует уровень радиологической безопасности для ситуаций потенциального облучения:

$$I_3 = \frac{1}{1 + \frac{\sum_{j=1}^{N} ПРС_j}{0,0002 \times N}},$$

где

N – число лиц персонала, для которого оценивается уровень радиологической безопасности;

$ПРС_j$ – пожизненный индивидуальный радиационный риск смертности от злокачественных новообразований j-го лица из персонала. Методика расчета пожизненного индивидуального радиационного риска смертности приведена в Приложении Б. Риск рассчитывается только с учетом планируемой годовой дозы.

При вычислении индекса безопасности планируемого облучения не следует учитывать радиационные риски от следующих типов облучения:

– облучение персонала при использовании источников ионизирующего излучения в медицине с целью диагностики и лечения;

– облучение, связанное с воздействием природных источников ионизирующего излучения;

– облучение в ситуациях, когда величина индивидуальной годовой эффективной дозы внешнего техногенного облучения превышает 50 мЗв.

8.2. Планирование доз облучения

В процессе оптимизации должно планироваться увеличение значений индекса безопасности планируемого облучения на последующий год по сравнению с его текущим значением.

Плановое увеличение индекса безопасности может достигаться за счет:

а) возможных перераспределений доз по половозрастным группам персонала при сохранении текущей средней годовой индивидуальной дозы по предприятию; при этом интервал возможных изменений индекса безопасности зависит от демографического состава персонала и истории его облучения;

б) привлечение персонала с малыми накопленными дозами;

в) снижения индивидуальных доз облучения.

Снижение индивидуальных доз облучения следует проводить в первую очередь для лиц, входящих в критическую группу.

Критическую группу составляют лица, вносящие наименьший вклад в индекс безопасности. Численность критической группы является параметром оптимизационного процесса. Численность критической группы определяется исходя из производственных возможностей.

Исходными данными для процедуры планирования оптимальных доз облучения являются индивидуальные данные для каждого лица из персонала:

– уникальный идентификатор;

– пол;

– год рождения;

– режим облучения в виде набора связанных значений:

– календарный год, в котором получена доза облучения;

– эквивалентная доза облучения легких (внутреннее + внешнее облучение), зиверт;

– эквивалентная доза облучения красного костного мозга (внутреннее + внешнее облучение), зиверт;

а также:

– календарный год, на который планируется доза облучения;

– данные официальной медицинской статистики о фоновых рисках.

Требования к исходным данным приведены в Приложении Б.

Планирование доз облучения персонала с использованием интегрального показателя радиационного риска следует проводить с использованием специализированного программно-математического обеспечения.

При планировании доз облучения следует выполнить следующие действия:

Шаг 1. Задать целевое значение индекса безопасности планируемого облучения.

Целевое значение индекса следует задавать на основе анализа динамики индекса безопасности за предшествующие пять лет. При отсутствии данных о динамике индекса безопасности в качестве целевого значения следует выбрать величину 90%.

Шаг 2. Вычислить актуальное значение индекса безопасности планируемого облучения.

Порядок вычисления актуального значения индекса безопасности определяется руководством пользователя специализированного программно-математического обеспечения.

Шаг 3. Сравнить целевое значение и актуальное значение индекса безопасности.

Если актуальное значение индекса безопасности больше целевого значения, то достигнутый уровень безопасности является высоким, и радиологическая защита считается оптимизированной. Во всех других случаях необходимо перейти к Шагу 4.

Шаг 4. Сформировать критическую группу персонала, состоящего на индивидуальном дозиметрическом контроле. Порядок формирования критической группы опре-

деляется руководством пользователя специализированного программно-математического обеспечения.

Шаг 5. Рассмотреть практические возможности снижения планируемых доз облучения для лиц, входящих в критическую группу.

Шаг 6. Повторить, при необходимости, шаги 2 – 5.

Приложение А (рекомендуемое)
Требования к программному обеспечению для создания виртуальной реальности

Виртуальная реальность создается для оптимизации облучаемости персонала при выполнении реальных радиационно-опасных работ. Поэтому ПОВР должна отвечать нескольким обязательным требованиям, в том числе:

– должна быть основана на актуальных данных по РО на промплощадке и в помещениях производственного объекта;

– ВР должна включать в себя динамическую визуализацию РО;

– ВР должна легко восприниматься пользователем;

– ПОВР должно уметь решать основные аналитические задачи радиационной безопасности.

Первое требование означает, что в ПОВР должны использовать только реальные данные по РО. Второе требование диктует требования оценке РО в режиме реального времени. Третье требование ограничивает варианты создания ПОВР совокупностью достаточно реалистичных 3D-объектов. Четвертое требование означает наличие у ПОВР аналитических возможностей для выработки оптимальных решений.

Перечисленным требованиям соответствует ПО «Информационно-аналитическая система по радиационной безопасности персонала» (ИАС РБП), функциональное и эксплуатационное назначение которой сводится к следующему.

1. Прогноз индивидуальных доз облучения персонала по запланированным радиационно-опасным работам.

2. Оценка неопределенности прогноза индивидуальных доз облучения персонала по радиационно-опасным работам.

3. 2D и 3D динамическая визуализация РО на промплощадке, в помещениях и сооружениях производственного объекта и на прилегающих территориях.

4. Визуализация маршрутов перемещения персонала, визуализация временных зависимостей мощности дозы.

5. Визуализация временных зависимостей мощности дозы в указанных точках.

6. Определение зон, в которых РО известна с наибольшей неопределенностью и где необходима дополнительная радиационная разведка.

7. Выбор метода интерполяции РО с минимальной погрешностью.

8. Поиск зон на топографической карте и планах производственных помещений зон, где персонал получает максимальные коллективные дозы.

9. Статистический анализ первичных данных по РО.

10. Интеллектуальный анализ данных по РО.

11. Определение маршрута из точки А в точку Б, при котором доза будет минимальной из всех возможных при перемещении – задача о кратчайшем пути.

12. Определение маршрута обхода нескольких контрольных точек, при котором полученная исполнителем доза будет минимальной – задача поиска цикла Гамильтона.

13. Определение маршрута обхода транспортно-пешеходной сети предприятия, при котором доза будет минимальной из всех возможных маршрутов – задача о шине.

14. Генерация интерактивных трехмерных отчетов в виде файлов, в формате KML[1].

15. Реализация ввода исходных данных по РО в информационно-аналитическую систему по существующему на предприятии протоколу без дополнительных затрат времени.

16. Ввод маршрутов персонала в графическом виде в KML-файлы.

17. Восстановление плотности поверхностного радиоактивного загрязнения по карте мощности амбиентного эквивалента дозы.

ИАС РБП (Рисунок А.1) для реализации перечисленных выше функций может состоять из пяти блоков:

- баз данных ИАС РБП;
- базовых вычислений;
- геоинформационных систем;
- аналитических вычислений;
- генерации отчетов.

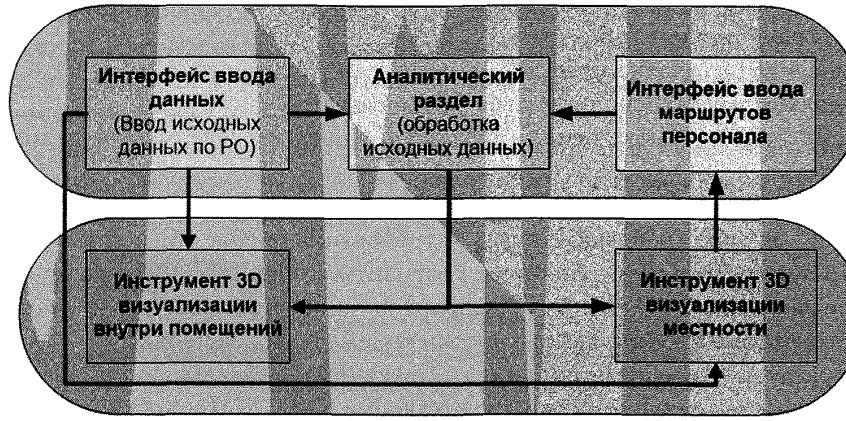


***Рисунок А.1** - Схема взаимодействия программных средств ИАС РБП*

Блок баз данных предназначен, как обычно, для хранения и быстрого доступа к данным по РО и к любым другим вспомогательным данным.

В **блоке базовых вычислений** выполняется процедура создания карт (гридов) радиационной обстановки. Гриды создаются путем интерполяции исходных данных. Если экранирующий эффект от зданий и/или сооружений является значительным для используемой топоосновы, то при построении гридов РО интерполяция выполняется с обязательным учетом их экранирующего эффекта.

Блок геоинформационных систем состоит из двух ГИС–ГИС[2] – «Статической визуализации РО» и ГИС «Динамическая визуализация РО». Первая ГИС оперирует с наборами гридов РО, построенными в блоке стандартных вычислений по соответствующим наборам измеренных значений мощности дозы. Второе программное средство также оперирует с гридами РО, но только для источников излучения, которые формируют стационарное поле излучений в визуализируемом сценарии. Источники излучения, которые определяют динамику полей излучений, должны описываться в этой программе через геометрию и радионуклидный состав источника.

---

[1] Формат KML файлов (Keyhole Markup Language – язык разметки Keyhole) позволяет отображать географические данные в программах Google Планета Земля, Карты Google и Карты Google для мобильных устройств. KML использует основанную на тегах структуру с вложенными элементами и атрибутами и создан на основе стандарта XML. Файлы KML и связанные с ними изображения можно сжимать с помощью формата ZIP в архивы KMZ.

[2] Для возможности представления результатов ИАС РБП в ГИС необходимо использовать KML-формат.

Блок генерации отчетов ИАС РБП должен обеспечивать следующие функции:

– сохранение и печать карты и слоев с легендой и идентифицирующим текстом;

– сохранение ГИС проекта с возможностью воспроизведения в текущей и новой сессии;

– создание истории геоанализа по текущей сессии с воспроизведением в новой;

– публикация слоев в формате KML, включая анимационное представление слоев;

– контекстная помощь, отображение объема занимаемой памяти, процессов выполнения операций, мониторинг обмена данными с БД и выполнения внешних задач.

Блок баз данных оперирует с первичными исходными данными, к которым относятся карты топооснов промплощадки, отдельных сооружений и зданий, данные по измерениям РО на промплощадке, в сооружениях и зданиях, а также маршруты перемещения персонала. Последние включают в себя как графический образ маршрута (траектория, зона или набор мест пребывания), так и атрибуты маршрута (время начала, длительность и кратность маршрута), а также тип защитного средства, который используется на этом маршруте.

Ввод новых топооснов и данных по РО также осуществляется в **блоке БД**. Все топоосновы интегрируются в одну карту в **блоке геоинформационных систем**. Ввод графического образа маршрута также осуществляется в этом блоке, введенный маршрут сохраняется в виде KML-файла и передается в БД, где происходит добавление в KML-файл атрибутов маршрута. Все маршруты одного сотрудника хранятся в одном KML-файле. Таким образом, сколько сотрудников – столько и KML-файлов. Все маршруты перемещения одного сотрудника можно изобразить на одной карте, см. Рисунок А.2.

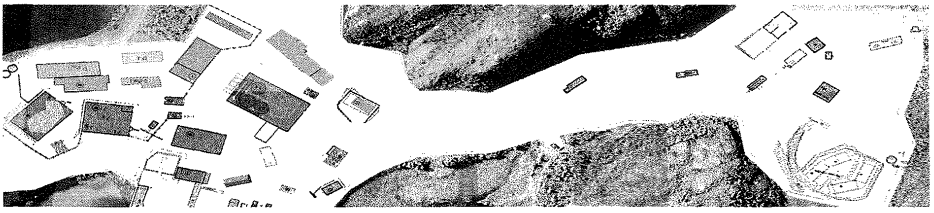


***Рисунок А.2** - Пример работы с маршрутами. Нанесены семь маршрутов, в том числе пять траекторий и две зоны. Маршруты, относящиеся к первому эпизоду, окрашены в фиолетовый цвет, а ко второму – в зеленый*

Первичные данные (новые топоосновы, файлы с данными измерений РО, KML-файлы и т. д.) из **блока баз данных** поступают в **блок базовых вычислений**. В этом блоке из файлов данных по РО путем интерполяции строятся гриды РО и вычисляются дозы как по отдельным маршрутам, так и по всем маршрутам для каждого сотрудника. Гриды по РО хранятся в **блоке БД** и передаются по мере необходимости в **блок геоинформационных систем**, а также в **блок решения аналитических вычислений**, в котором решаются различные аналитические задачи, в том числе, и задачи, решение которых позволяет реализовать принцип оптимизации. **Блок аналитических вычислений** использует пятислойную карту, см. Рисунок А.3.

В ГИС «Статическая визуализация РО» **блока геоинформационных систем** визуализируются гриды РО, наряду с маршрутами, данными первичных измерений, см. Рисунок А.4. В ГИС «Динамическая визуализация РО» блока геоинформационных систем гриды РО используются (визуализируются) в различного рода сценариях, см. Рисунок А.5.

ГИС «Статическая визуализация РО» и ГИС «Динамическая визуализация РО» позволяют не только визуализировать РО в формате 3D, но каждая из этих ГИС обладает

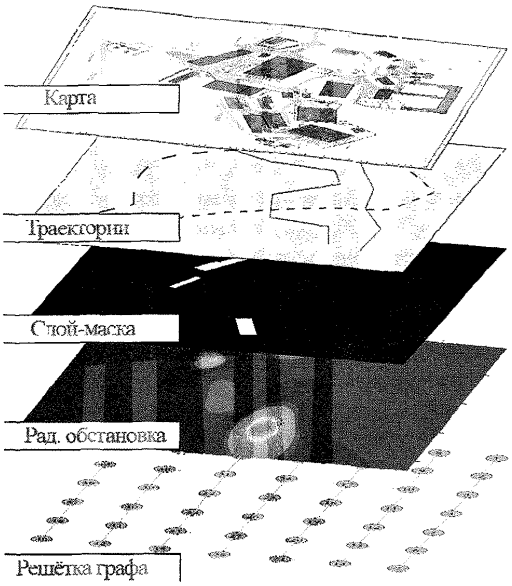


Рисунок А.3 *- Пятислойная карта, которая используется в блоке аналитических вычислений*

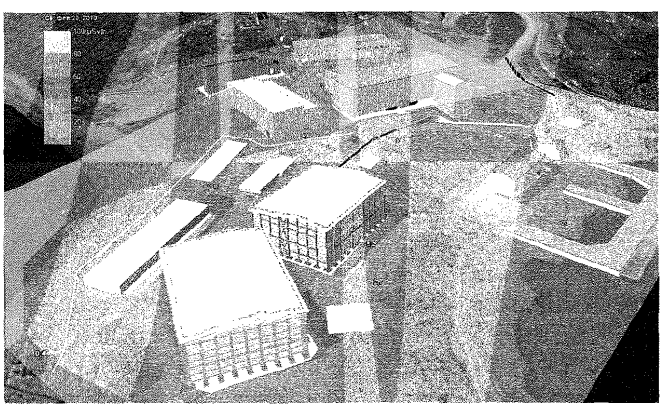


Рисунок А.4 *- Скриншот «Статическая визуализация»*

так называемым тайм-слайдером – поддержкой отображения изменения объектов во времени. Это означает, что мы можем вставлять различные модели зданий, сооружений и других объектов в соответствии с периодом их существования на промплощадке.

Функции, которые выполняют программные блоки ИАС РБП, более подробно будут рассмотрены в следующем подразделе методических указаний, но только в той их части, которая непосредственно связана с реализацией принципа оптимизации.

Реализация принципа оптимизации с помощью программного обеспечения по созданию виртуальной реальности

В настоящем разделе описано, каким образом ПОВР может обеспечить реализацию принципа оптимизации. Действия по оптимизации выделены жирным курсивом.

Планирование работ

При планировании радиационно-опасных работ должны быть рассмотрены различные варианты их выполнения. Приоритет отдается вариантам с наименьшими дозозатрата-

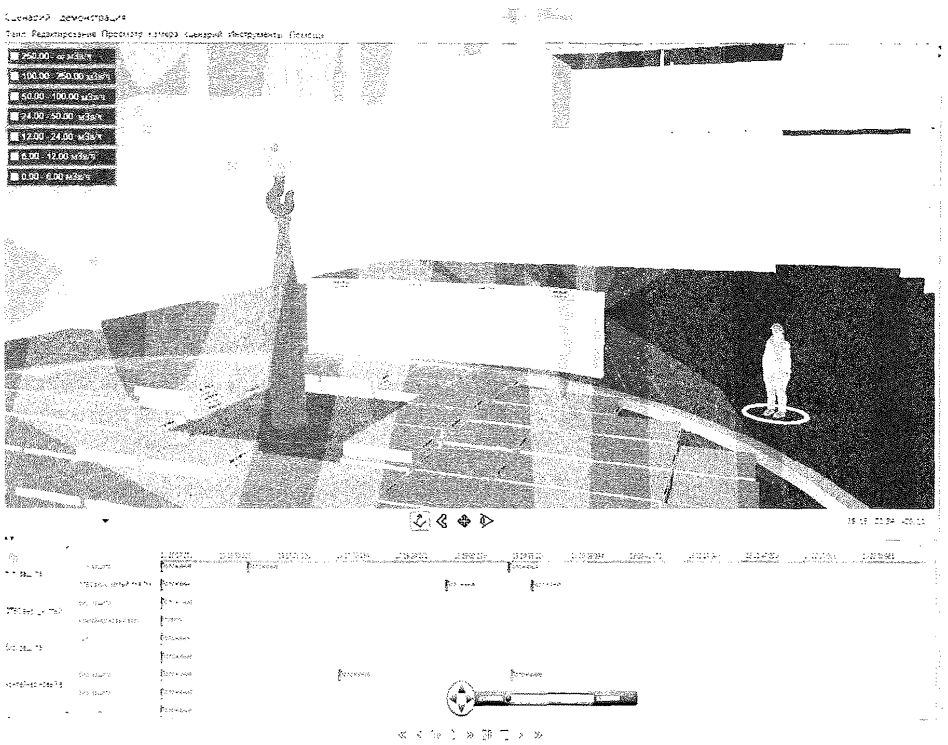


Рисунок А.5 - Скриншот «Динамическая визуализация»

ми. При этом предпочтительными являются способы выполнения работы с наименьшими индивидуальными дозами персонала.

ГИС «Динамическая визуализация РО» **блока геоинформационных систем** ПОВР должно позволять создавать и проигрывать различные сценарии проведения радиационно-опасной работы. Выполнение каждого сценария (варианта) сопровождается вычислением эффективной дозы каждого из виртуальных участников работы. Таким образом, в результате использования ПОВР мы получим набор всех мыслимых вариантов выполнения радиационно-опасной работы с наборами индивидуальных доз для всех исполнителей каждого из сценариев и коллективной дозой по каждому сценарию. В этом случае не представляет труда выбрать вариант, соответствующий принципу оптимизации, т. е. вариант с наименьшей дозой, см. Рисунок А.6.

Подготовка к работе

Подготовка к работе включает в себя проведение тренировок персонала для отработки безопасных способов выполнения рабочих операций. При необходимости тренировки проводятся с использованием тренажеров. Квалифицированный и подготовленный персонал способен выполнить ту же работу за более короткий период времени с меньшими дозовыми нагрузками. Работник сам должен быть заинтересован в снижении дозозатрат.

ГИС «Динамическая визуализация РО» **блока геоинформационных систем** ПОВР позволяет не только выбирать оптимальный вариант работы, но и является виртуальным тренажером, который в предельно наглядной форме позволяет исполнителю убедиться в том, к каким негативным последствиям приведет то или иное отклонение от оптимального варианта, см. Рисунок А.7.

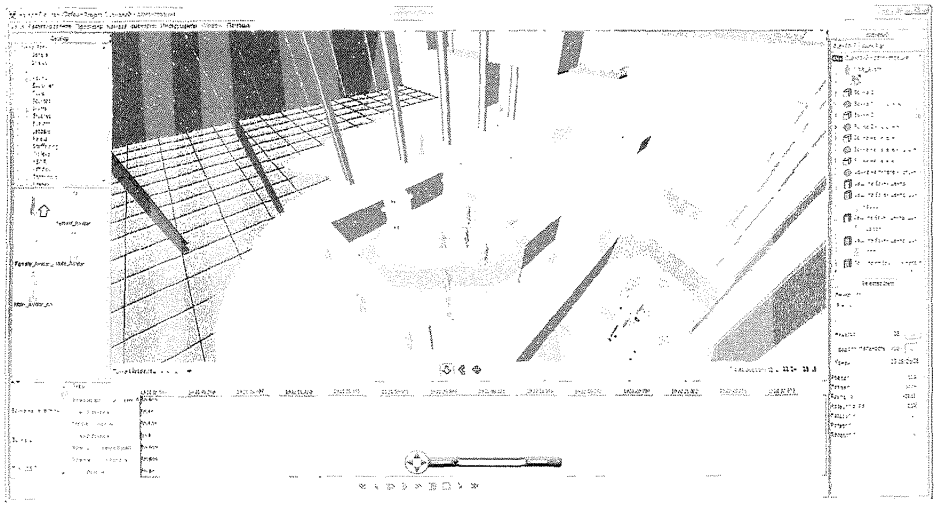


Рисунок А.6 *- Моделирование различных вариантов выполнения сценария*

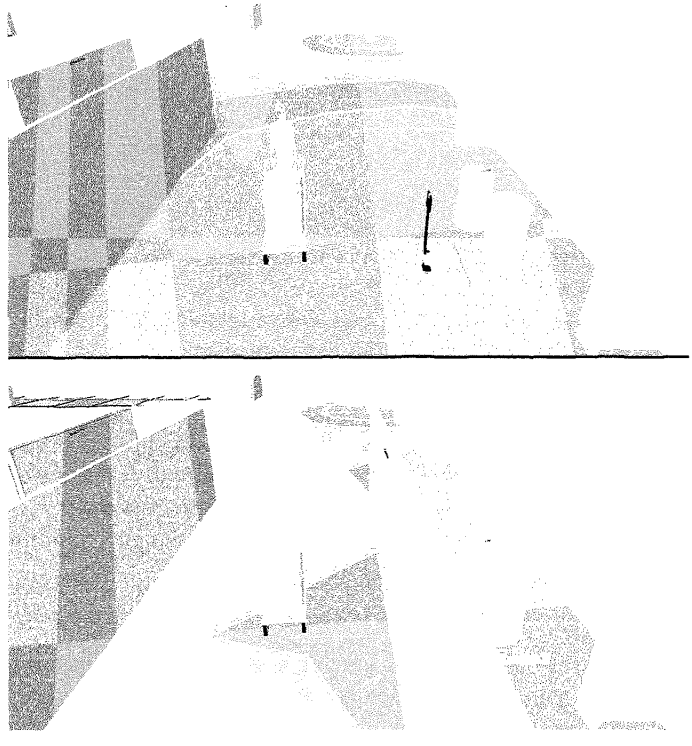


Рисунок А.7 *- Пример изменения радиационного поля при добавлении в сценарий дополнительной защиты*

Перед началом работы проводится контроль радиационной обстановки в месте проведения предполагаемых работ.

Для ввода исходных данных по РО в месте проведения радиационно-опасных работ в ПОВР используется блок баз данных, см. Рисунок А.8.

Выполняется зонирование территории. На картограмме выделяются места с наибольшей мощностью дозы внешнего γ-излучения, где ограничивается время нахождения пер-

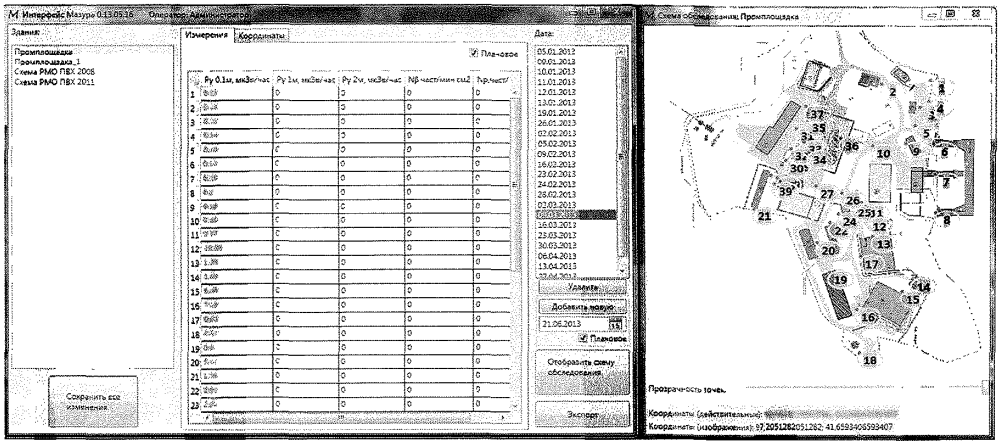


Рисунок А.8 *- Пример окна ввода данных по РО в блоке баз данных ПОВР*

сонала. Отмечаются места с наименьшей мощностью дозы внешнего γ-излучения, чтобы персонал по возможности находился на этих участках (например, при выполнении подготовительных операций, во время отдыха и пр.).

Исходные данные из **блока баз данных** передаются в **блок базовых вычислений**, где эти исходные данные преобразуются в гриды РО. Далее гриды РО визуализируются в **блоке геоинформационных систем**[3]. Места с наибольшей мощностью дозы выделяются соответствующим цветом, см. Рисунок А.9.

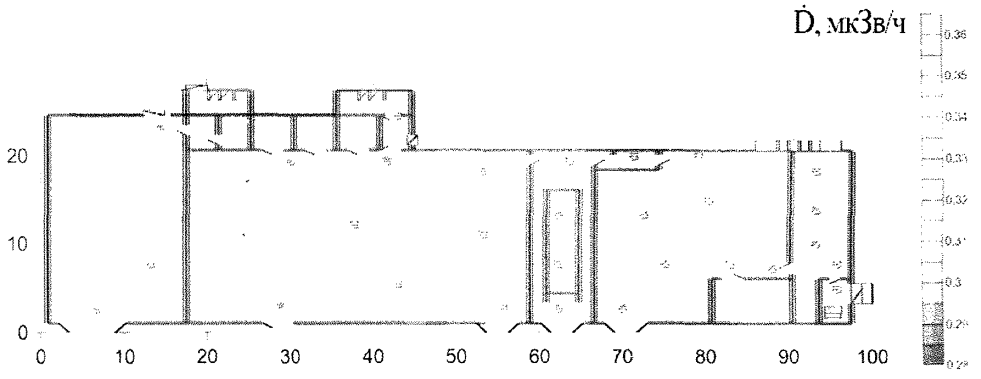


Рисунок А.9 *- Пример грида радиационной обстановки*

Намечаются маршруты передвижения персонала по площадке с целью ограничения воздействия внешнего излучения.

Блок аналитических вычислений содержит три подпрограммы для решения такого рода задач. Эти задачи решаются методами дискретной математики (теории графов) и для их решения используется пятый слой «решетка графа» на Рисунке А.3. Решаемые задачи:

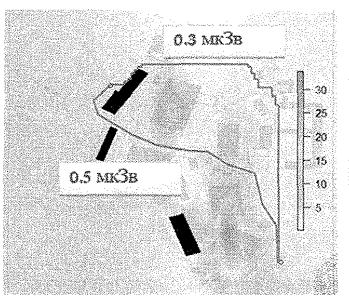
– поиск пути из точки А в точку Б с наименьшей дозой;

– поиск последовательности и путей обхода набора контрольных точек с получением минимальной дозы;

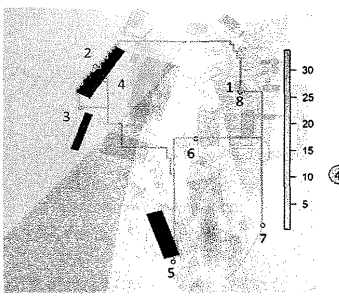
– поиск пути объезда всей внутренней транспортной сети предприятия (задача о поливальной машине: как полить все дороги внутри промплощадки предприятия и получить при этом минимальную дозу).

[3] Либо в ГИС «Динамическая визуализация РО», либо в ГИС «Статическая визуализация РО», либо в обеих ГИС.

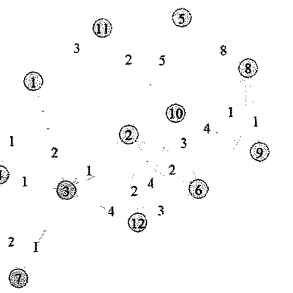
На Рисунке А.10 показаны в графической форме результаты решения перечисленных выше задач. Пользователь ПОВР может не согласиться с тем, что предложенные компьютером решения являются оптимальными и нарисовать свою траекторию исходя из своего опыта работы в радиационных полях. В таком случае доза, соответствующая новой траектории, будет также рассчитана средствами ПОРВ и сравнена с дозой, которую получил бы исполнитель в случае движения по траектории, предложенной компьютером.



Задача о пути с минимальной дозой. *Показаны две траектории. Траектория с дозой 0,3 мкЗв найдена компьютером, траектория с дозой 0,5 мкЗв предложена опытным дозиметристом*



Задача об оптимальной последовательности обхода контрольных точек. *Показана найденная компьютером последовательность обхода восьми контрольных точек*



Задача о поливальной машине. *Показана транспортная сеть предприятия с последовательностью объезда узловых точек (вершин транспортной сети). Веса ребер соответствуют дозе, полученной при проезде ребра*

Рисунок А.10 *- Результаты решения задач дозиметрии методами дискретной математики*

Проводится расчет разрешенной дозы, допустимого времени работы, контрольных уровней радиационных факторов.

Расчет доз по маршрутам персонала является одной из основных функций **блока базовых вычислений** ПО ВР. Кроме того, блок аналитических вычислений позволяет не только рассчитать дозы по одному маршруту (индивидуальная доза), но и рассчитывать дозу по фрагментам топооснов для любого количества маршрутов любого количества работников (распределение коллективной дозы по фрагментам топоосновы), см. Рисунок А.11.

Оформляется наряд-допуск на радиационно-опасные работы. В наряде-допуске указывается:

– наименование, дата выполнения и место проведения работы;

– фактические значения уровней радиационного воздействия (мощность дозы внешнего гамма-излучения и объемная активность бета-аэрозолей и др.);

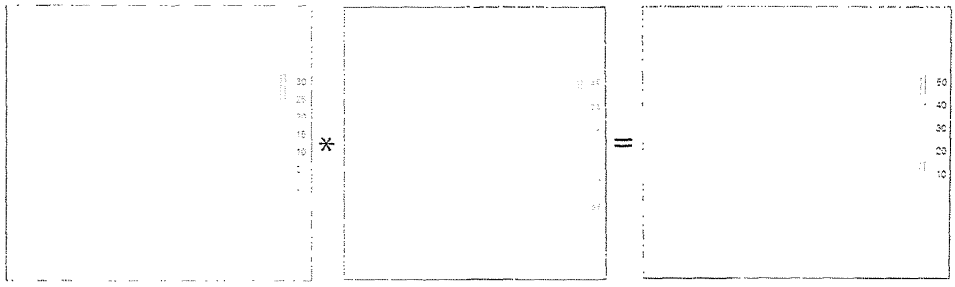
– разрешенная индивидуальная эффективная и эквивалентная доза за время выполнения работы;

– время выполнения работы (максимальное время нахождения на данном участке);

– применяемые индивидуальные и коллективные средства индивидуальной защиты (СИЗ);

– перечень инструкций по ТБ и РБ, требования которых необходимо соблюдать при выполнении данной работы.

В **блоке формирования отчетов** ПОВР имеется опция, предназначенная для формирования и распечатки дозового наряда-допуска. Пример такого допуска приведен на Рисунке А.12.



Грид мощности дозы на промплощадке | *Траектории перемещения персонала по промплощадке* | *Распределение коллективной дозы по фрагментам территории промплощадки. Белый цвет соответствует нулевой дозе (персонал в этом фрагменте территории не был)*

Рисунок А.11 *- Расчет коллективной дозы по фрагментам топоосновы*

Наряд - допуск N ____ на производство работ
повышенной радиационной опасности

_____
наименование организации

I. НАРЯД

1. **Ответственному исполнителю работ** _____
с бригадой в составе _____ чел. произвести следующие работы
_____
наименование работ, место проведения

2.Необходимые для производства работ:
материалы_____
инструменты _____
защитные средства/приборы радиационного контроля_____
3.**При подготовке и** выполнении работ обеспечить следующие меры радиационной безопасности _____
перечисляются основные мероприятия и средства по обеспечению радиационной безопасности труда, указывается регламент проведения работ и объем радиационного контроля

4.**Особые условия** _____
5.**Начало** работы в___час___мин_____ 200_ г.
Окончание работы в ___час ___мин_____ 200_ г.
6.**Ответственным руководителем работ назначается**_____
должность (Ф.И.О.)подпись
7.Ответственным за проведение радиационного контроля назначается
_____
Должность, (Ф.И.О.; подпись
8.Наряд - **допуск выдал** _____
(Ф.И.О.), подпись
9. **Наряд - допуск принял:**
ответственный руководитель работ _____
должность,(Ф.И.О.),подпись
10.**Мероприятия** по обеспечению радиационной безопасности и порядок производства работ согласованы:
_____
ответственное лицо действующего предприятия

Рисунок А.12 *- Пример наряда-допуска*

Определяется необходимый объем радиационного контроля, включая аварийный.

В **блоке аналитических вычислений** ПОВР имеется целый раздел, в котором двумя методами решается задача определения объема радиационного контроля при заданном допустимом значении погрешности определения параметров РО. В первом методе определяется потребность в проведении дополнительных измерений, исходя из наибольших градиентов мощности дозы, во втором – исходя из наибольшей погрешности в определении самой мощности дозы. Пример решения задач в одной и той же радиационной ситуации приведен на Рисунке А.13.



***Рисунок А.13** - Поиск областей, в которых необходимо в первую очередь провести радиационный контроль. 1-й метод – оценка по максимальному изменению градиента мощности дозы, 2-й – по максимальной ошибке интерполяции (метод кросс-валидации)*

Проведение работ

Работы по наряду-допуску проводятся в сопровождении дозиметриста, осуществляющего необходимый радиационный контроль. Кроме того, персонал проводит самоконтроль с помощью индивидуальных дозиметров, измеряющих также мощность дозы внешнего гамма-излучения, с установленными порогами срабатывания сигнализации о превышении контрольных уровней.

В ПОВР должна быть реализована функция трекинг-контроля за персоналом, выполняющим радиационно-опасную работу.

Анализ и оценка результатов работ

Сравниваются полученные дозы (индивидуальные и коллективные) с прогнозируемыми (разрешенными) величинами.

Элементарная рутинная процедура в ПОВР.

При превышении заданных уровней проводится расследование причин с целью недопущения подобных случаев в будущем.

В **блоке аналитических вычислений** ПОВР существует модуль для реконструкции индивидуальных доз участников радиационно-опасных работ. В ГИС «Динамическая визуализация РО» **блока геоинформационных систем** ПОВР создается и исполняется сценарий, соответствующий реальному, а не запланированному выполнению работы.

Оценивается эффективность выполненных мероприятий по снижению дозозатрат.

ГИС «Динамическая визуализация РО» **блока геоинформационных систем** ПОВР позволяет виртуально оценить влияние каждого выполненного мероприятия по снижению дозозатрат, а для каждого сценария выполнения радиационно-опасной работы – оценить индивидуальные и коллективные дозы.

Составляется краткий отчет с выводами и рекомендациями для организации подобных работ впоследствии.

В **блоке генерации отчетов** ПОВР формируется отчет, ГИС «Динамическая визуализация РО» **блока геоинформационных систем** ПОВР запоминается реализованный сценарий проведения радиационно-опасной работы.

Список литературы к Приложению А

1. Guidelines «Features of the application of the ALARA principle in the treatment of spent nuclear fuel and radioactive waste in the branch number 1 Federal State Unitary Enterprise "SevRAO", MU 2.6.1.05-08.

2. V. Kryuchkov, V. Chumak, E. Maceika, L.R. Anspaugh, E. Cardis, E. Bakhanova, I. Golovanov, V. Drozdovitch, N. Luckyanov, A. Kesminiene, P. Voilleque and Bouville. RADRUE method for reconstruction of external photon doses for Chernobyl liquidators in epidemiological studies. Health Physics, October 2009, Volume 97, Number 4, pp. 275-298.

3. А.Ф.Бобров, В.Ю. Щебланов, Ю.М. Гореев, Симаков А.В. Оценка культуры безопасности при обращении с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами.

4. Key Practical Issues in Strengthening Safety Culture. INSAG-15. Vienna: IAEA, 2002.

Приложение Б (рекомендуемое)
Методика вычисления характеристик индивидуального радиационного риска для здоровья лиц, подвергающихся профессиональному облучению ионизирующей радиацией

В методике приведены требования к исходным данным и порядок вычисления годового фонового индивидуального риска заболеваемости злокачественными новообразованиями и следующих характеристик индивидуального радиационного риска: годового индивидуального радиационного риска заболеваемости злокачественными новообразованиями, пожизненного индивидуального радиационного риска заболеваемости злокачественными новообразованиями, пожизненного индивидуального радиационного риска смертности от злокачественных новообразований.

Методика предназначена для расчета индивидуального риска мужчин и женщин старше 18 лет (для женщин – с исключением периодов беременности и грудного вскармливания), подвергающихся/подвергавшихся техногенному облучению в контролируемых условиях. Возраст, на который рассчитывается риск, не должен превышать 90 лет.

Результаты расчета характеристик индивидуального радиационного риска представляется в виде безразмерных величин, округленных до трех значащих цифр.

Годовой индивидуальный радиационный риск заболеваемости злокачественными новообразованиями

Исходными данными для вычисления годового индивидуального радиационного риска заболеваемости злокачественными новообразованиями являются индивидуальные данные:

– уникальный идентификатор;

– пол;

– год рождения;

– режим облучения в виде набора связанных значений:

– календарный год, в котором получена доза облучения;

– эквивалентная доза облучения легких (внутреннее + внешнее облучение) в зивертах;

– эквивалентная доза облучения красного костного мозга (внутреннее + внешнее облучение) в зивертах;

а также:

– календарный год, на который рассчитывается риск;

– половозрастные показатели заболеваемости солидными злокачественными новообразованиями в РФ: для каждого возраста от 17 лет до 90 лет, для мужчин и женщин;

– число выявленных за год солидных злокачественных новообразований на 100 тыс. населения соответствующего пола и возраста.

Основным источником индивидуальных данных являются результаты индивидуального дозиметрического контроля. При отсутствии данных об эквивалентных дозах внешнего облучения допускается использование данных об эффективных дозах внешнего облучения.

Основным источником данных о половозрастных показателях заболеваемости солидными злокачественными новообразованиями является Государственный раковый регистр (Российский Центр информационных технологий и эпидемиологических исследований в области онкологии в составе МНИОИ им. П.А. Герцена), его официальные публикации [1]. Официальные данные об онкологической заболеваемости приводятся, как правило, не для каждого возраста, а для пятилетних возрастных интервалов. В этом случае необходимо выполнить линейную интерполяцию официальных данных с шагом 1 год. Данные об онкологической заболеваемости должны быть актуальными (разница между годом, на который рассчитывается риск, и годом, на который приведены онкологические данные, не должна быть больше 10 лет). При отсутствии актуальных данных следует использовать данные, приведенные в Таблице Б.1.

Таблица Б.1 *- Половозрастные показатели заболеваемости солидными злокачественными новообразованиями в РФ в 2012 году*

Возраст, лет	Показатель на 100 000		Возраст, лет	Показатель на 100 000	
	мужчины	женщины		мужчины	женщины
17	9,92	11,46	54	703,53	562,49
18	10,43	12,92	55	772,08	595,60
19	10,94	14,38	56	863,68	632,73
20	11,43	15,86	57	955,28	669,86
21	12,41	19,87	58	1046,88	706,99
22	13,39	23,88	59	1138,48	744,12
23	14,37	27,89	60	1230,06	781,26
24	15,35	31,90	61	1290,22	785,83
25	16,31	35,92	62	1350,38	790,40
26	18,91	43,02	63	1410,54	794,97
27	21,51	50,12	64	1470,70	799,54
28	24,11	57,22	65	1530,86	804,10
29	26,71	64,32	66	1618,04	845,68
30	29,29	71,40	67	1705,22	887,26
31	33,79	80,62	68	1792,40	928,84
32	38,29	89,84	69	1879,58	970,42
33	42,79	99,06	70	1966,77	1012,01
34	47,29	108,28	71	1983,62	1015,98
35	51,80	117,51	72	2000,47	1019,95
36	62,20	132,59	73	2017,32	1023,92
37	72,60	147,67	74	2034,17	1027,89
38	83,00	162,75	75	2051,01	1031,88
39	93,40	177,83	76	2078,51	1039,15
40	103,80	192,93	77	2106,01	1046,42
41	125,00	214,75	78	2133,51	1053,69
42	146,20	236,57	79	2161,01	1060,96
43	167,40	258,39	80	2188,53	1068,24

Возраст, лет	Показатель на 100 000		Возраст, лет	Показатель на 100 000	
	мужчины	женщины		мужчины	женщины
44	188,60	280,21	81	2121,35	1039,81
45	209,79	302,03	82	2054,17	1011,38
46	253,71	327,63	83	1986,99	982,95
47	297,63	353,23	84	1919,81	954,52
48	341,55	378,83	85	1852,63	926,09
49	385,47	404,43	86	1852,63	926,09
50	429,37	430,01	87	1852,63	926,09
51	497,91	463,13	88	1852,63	926,09
52	566,45	496,25	89	1852,63	926,09
53	634,99	529,37	90	1852,63	926,09

Расчет величины годового индивидуального радиационного риска заболеваемости злокачественными новообразованиями выполняется на основе исходных данных с использованием формул, приведенных ниже.

Годовой индивидуальный радиационный риск заболеваемости злокачественными новообразованиями *P(u)* в календарном году *u* вычисляется как сумма годового индивидуального радиационного риска заболеваемости лейкозами *Pl(u)* и годового индивидуального радиационного риска заболеваемости солидными злокачественными новообразованиями *Ps(u)*:

$$P(u) = Pl(u) + Ps(u).$$

Для лица, родившегося в году m и начавшего работать с источниками ионизирующего излучения в году g_0, годовой индивидуальный радиационный риск заболеваемости лейкозами вычисляется по формуле:

$$Pl(u) = 10^{-5} \times \sum_{g=g_0}^{u-2} \beta_{g-m,s} \times D_g \times (1 + 0{,}79 \times D_g) \times e^{-\alpha_{g-m,s} \times (u-g-25)},$$

где

g – календарный год работы с источниками ионизирующего излучения $g = g_0 \ldots u$;

$g-m$ – возраст на момент облучения, лет;

s – индекс пола (мужчина, женщина);

$\beta_{g-m,s}$ и $\alpha_{g-m,s}$ – параметры, которые зависят от пола s и возраста на момент облучения (см. Таблицу Б.2);

D_g – эквивалентная доза облучения красного костного мозга за календарный год g, Зв.

Таблица Б.2 – *Параметры модели для вычисления годового индивидуального радиационного риска заболеваемости лейкозами*

Возраст на момент облучения, лет	Параметры модели			
	β		α	
	Мужчины	Женщины	Мужчины	Женщины
0–19	3,3	6,6	–0,17	–0,07
20–39	4,8	9,7	–0,13	–0,03
40 и старше	13,1	26,4	–0,07	0,03

Годовой индивидуальный радиационный риск заболеваемости солидными злокачественными новообразованиями вычисляется по формуле:

$$Ps(u) = 0,5 \times 10^{-5} \times \lambda_{u-m,s}^{inc,solid} \times \gamma_s \times \left(\frac{u-m}{70}\right)^{-1,65} \times \sum_{g=g_0}^{u-10} Dl_g \times e^{-0,018 \times (g-m-30)} +$$

$$+0,5 \times \delta_s \times \left(\frac{u-m}{70}\right)^{-2,38} \times \sum_{g=g_0}^{u-10} Dl_g \times e^{-0,027 \times (g-m-30)},$$

где

$u-m$ – возраст на год расчета риска;

$\lambda_{u-m,s}^{inc,solid}$ – показатель заболеваемости солидными злокачественными новообразованиями для пола s и возраста на год расчета риска;

γ_s – коэффициент избыточного относительного риска заболевания солидными злокачественными новообразованиями (0,35 – для мужчин, 0,58 – для женщин);

δ_s – коэффициент избыточного абсолютного риска заболевания солидными злокачественными новообразованиями (0,0043 – для мужчин, 0,0059 – для женщин);

Dl_g – эквивалентная доза облучения легкого за календарный год g, Зв.

Примечание: представленные выше математические модели развития радиационно-зависимых онкологических заболеваний были получены на основе многолетних наблюдений за здоровьем выживших после атомной бомбардировки жителей японских городов Хиросима и Нагасаки [2]. Считается, что дозы и мощности доз облучения этих лиц были высокими. Чтобы перенести оценки риска, установленные для высоких доз и мощностей доз, на риски, которые соответствуют малым дозам и малым мощностям доз, МКРЗ был введен коэффициент снижения риска, так называемый, коэффициент эффективности дозы и мощности дозы (DDREF – dose and dose rate effectiveness factor). К настоящему времени точных оценок DDREF, полученных по прямым радиационно-эпидемиологическим исследованиям, нет. Есть рекомендованные значения, полученные экспертным путем. Так, МКРЗ [2] при выводе номинальных коэффициентов радиационного риска использовало значение DDREF, равное 2 (такое же, как и в более ранней 60-й Публикации). Американский Комитет BEIR VII [3] сделал вывод, что значение DDREF находится в диапазоне 1,1–2,3, а точечная оценка равна 1,5. Эксперты Всемирной организации здравоохранения [4], основываясь на результатах самых современных исследований, не использовали понижающий коэффициент при анализе рисков после аварии на АЭС Фукусима-1. В настоящей методике также используется консервативный подход к расчету радиационного риска, при котором риски от малых доз и малых мощностей доз не занижаются по сравнению с рисками от больших доз и больших мощностей доз (DDREF = 1).

Пожизненный индивидуальный радиационный риск заболеваемости злокачественными новообразованиями

Пожизненный индивидуальный радиационный риск заболеваемости злокачественными новообразованиями ***ПРЗ*** следует понимать как вероятность возникновения в течение всей предстоящей жизни онкологического заболевания, вызванного радиационным воздействием.

Величина ***ПРЗ*** вычисляется суммированием значений годового индивидуального радиационного риска заболеваемости злокачественными новообразованиями $P(u)$ по всем последующим календарным годам u, начиная от текущего u_0, с учетом вероятности здорового дожития $SF(u)$:

$$\text{ПРЗ} = \sum_{u=u_0}^{m+90} P(u) \times SF(u).$$

Исходными данными для вычисления вероятности здорового дожития являются:

– половозрастные показатели смертности от всех причин в РФ: для каждого возраста от 17 лет до 90 лет, для мужчин и женщин, – число за год случаев смерти на 100 тыс. населения соответствующего пола и возраста.

– половозрастные показатели заболеваемости всеми злокачественными новообразованиями в РФ: для каждого возраста от 17 лет до 90 лет, для мужчин и женщин, – число выявленных за год случаев всех злокачественных новообразований на 100 тыс. населения соответствующего пола и возраста.

– половозрастные показатели смертности от злокачественных новообразований в РФ: для каждого возраста от 17 лет до 90 лет, для мужчин и женщин, – число за год случаев смерти от злокачественных новообразований на 100 тысяч населения соответствующего пола и возраста.

Основным источником данных о половозрастных показателях заболеваемости всеми злокачественными новообразованиями и смертности от злокачественных новообразований является Государственный раковый регистр (Российский Центр информационных технологий и эпидемиологических исследований в области онкологии в составе МНИОИ им. П.А. Герцена), его официальные публикации [1]. Основным источником данных о половозрастных показателях смертности от всех причин является Росстат [5]. Если официальные данные приведены для пятилетних возрастных интервалов, необходимо выполнить линейную интерполяцию с шагом 1 год. Исходные данные для расчета вероятности здорового дожития должны быть актуальными (разница между текущим годом и годом, на который приведены онкологические данные, не должна быть больше 10 лет). При отсутствии актуальных данных следует использовать данные, приведенные в Таблицах Б.3 – Б.5.

Таблица Б.3 *- Половозрастные показатели смертности от всех причин в РФ в 2012 году*

Возраст, лет	Показатель на 100 000		Возраст, лет	Показатель на 100 000	
	мужчины	женщины		мужчины	женщины
17	205,04	70,45	54	2713,30	929,42
18	233,83	74,65	55	2873,41	999,85
19	262,62	78,85	56	3069,29	1068,92
20	291,39	83,03	57	3265,17	1137,99
21	334,93	94,59	58	3461,05	1207,06
22	378,47	106,15	59	3656,93	1276,13
23	422,01	117,71	60	3852,79	1345,21
24	465,55	129,27	61	4153,80	1502,72
25	509,07	140,83	62	4454,81	1660,23
26	552,45	151,87	63	4755,82	1817,74
27	595,83	162,91	64	5056,83	1975,25
28	639,21	173,95	65	5357,85	2132,78
29	682,59	184,99	66	5696,18	2372,93
30	725,99	196,03	67	6034,51	2613,08
31	744,20	206,81	68	6372,84	2853,23
32	762,41	217,59	69	6711,17	3093,38
33	780,62	228,37	70	7049,51	3333,54
34	798,83	239,15	71	7677,21	3878,42
35	817,04	249,94	72	8304,91	4423,30
36	872,21	266,33	73	8932,61	4968,18
37	927,38	282,72	74	9560,31	5513,06
38	982,55	299,11	75	10188,00	6057,94
39	1037,72	315,50	76	10890,20	6894,95
40	1092,90	331,87	77	11592,40	7731,96

Возраст, лет	Показатель на 100 000		Возраст, лет	Показатель на 100 000	
	мужчины	женщины		мужчины	женщины
41	1168,63	355,68	78	12294,60	8568,97
42	1244,36	379,49	79	12996,80	9405,98
43	1320,09	403,30	80	13699,00	10243,00
44	1395,82	427,11	81	15531,20	12213,60
45	1471,53	450,94	82	17363,40	14184,20
46	1591,81	490,28	83	19195,60	16154,80
47	1712,09	529,62	84	21027,80	18125,40
48	1832,37	568,96	85	22860,00	20096,00
49	1952,65	608,30	86	22860,00	20096,00
50	2072,94	647,66	87	22860,00	20096,00
51	2233,03	718,10	88	22860,00	20096,00
52	2393,12	788,54	89	22860,00	20096,00
53	2553,21	858,98	90	22860,00	20096,00

Таблица Б.4 *- Половозрастные показатели заболеваемости всеми злокачественными новообразованиями в РФ в 2012 году*

Возраст, лет	Показатель на 100 000		Возраст, лет	Показатель на 100 000	
	мужчины	женщины		мужчины	женщины
17	12,25	13,06	54	718,87	569,97
18	12,69	14,59	55	788,66	603,49
19	13,13	16,12	56	881,63	641,95
20	13,57	17,67	57	974,60	680,41
21	14,44	21,72	58	1067,57	718,87
22	15,31	25,77	59	1160,54	757,33
23	16,18	29,82	60	1253,51	795,78
24	17,05	33,87	61	1314,91	800,77
25	17,89	37,94	62	1376,31	805,76
26	20,66	45,06	63	1437,71	810,75
27	23,43	52,18	64	1499,11	815,74
28	26,20	59,30	65	1560,51	820,72
29	28,97	66,42	66	1649,94	862,68
30	31,70	73,52	67	1739,37	904,64
31	36,32	82,63	68	1828,8	946,60
32	40,94	91,74	69	1918,23	988,56
33	45,56	100,85	70	2007,65	1030,54
34	50,18	109,96	71	2024,72	1034,66
35	54,81	119,09	72	2041,79	1038,78
36	65,43	134,32	73	2058,86	1042,90
37	76,05	149,55	74	2075,93	1047,02
38	86,67	164,78	75	2092,99	1051,15
39	97,29	180,01	76	2120,94	1057,94
40	107,89	195,26	77	2148,89	1064,73
41	129,33	217,38	78	2176,84	1071,52
42	150,77	239,50	79	2204,79	1078,31
43	172,21	261,62	80	2232,74	1085,11

Возраст, лет	Показатель на 100 000		Возраст, лет	Показатель на 100 000	
	мужчины	женщины		мужчины	женщины
44	193,65	283,74	81	2164,19	1055,56
45	215,09	305,86	82	2095,64	1026,01
46	260,02	331,86	83	2027,09	996,46
47	304,95	357,86	84	1958,54	966,91
48	349,88	383,86	85	1890,00	937,37
49	394,81	409,86	86	1890,00	937,37
50	439,71	435,85	87	1890,00	937,37
51	509,50	469,38	88	1890,00	937,37
52	579,29	502,91	89	1890,00	937,37
53	649,08	536,44	90	1890,00	937,37

Таблица Б.5 - *Половозрастные показатели смертности от злокачественных новообразований в РФ в 2012 году*

Возраст, лет	Показатель на 100 000		Возраст, лет	Показатель на 100 000	
	мужчины	женщины		мужчины	женщины
17	5,80	4,58	54	484,34	241,03
18	6,00	4,71	55	533,69	259,19
19	6,20	4,84	56	584,07	276,01
20	6,37	4,99	57	634,45	292,83
21	6,81	5,99	58	684,83	309,65
22	7,25	6,99	59	735,21	326,47
23	7,69	7,99	60	785,58	343,29
24	8,13	8,99	61	853,23	366,39
25	8,59	9,99	62	920,88	389,49
26	10,01	12,21	63	988,53	412,59
27	11,43	14,43	64	1056,18	435,69
28	12,85	16,65	65	1123,79	458,78
29	14,27	18,87	66	1173,58	480,63
30	15,70	21,07	67	1223,37	502,48
31	18,19	24,32	68	1273,16	524,33
32	20,68	27,57	69	1322,95	546,18
33	23,17	30,82	70	1372,72	568,07
34	25,66	34,07	71	1414,08	596,31
35	28,16	37,28	72	1455,44	624,55
36	34,41	42,82	73	1496,80	652,79
37	40,66	48,36	74	1538,16	681,03
38	46,91	53,90	75	1579,53	709,27
39	53,16	59,44	76	1592,77	724,86
40	59,42	64,98	77	1606,01	740,45
41	74,28	73,14	78	1619,25	756,04
42	89,14	81,30	79	1632,49	771,63
43	104,00	89,46	80	1645,74	787,24
44	118,86	97,62	81	1582,79	779,10
45	133,73	105,77	82	1519,84	770,96
46	164,37	118,29	83	1456,89	762,82

Возраст, лет	Показатель на 100 000		Возраст, лет	Показатель на 100 000	
	мужчины	женщины		мужчины	женщины
47	195,01	130,81	84	1393,94	754,68
48	225,65	143,33	85	1331,00	746,54
49	256,29	155,85	86	1331,00	746,54
50	286,94	168,39	87	1331,00	746,54
51	336,29	186,55	88	1331,00	746,54
52	385,64	204,71	89	1331,00	746,54
53	434,99	222,87	90	1331,00	746,54

Для лица пола *s*, родившегося в году *m* и не болеющего злокачественным новообразованием в текущем году u_0, вероятность дожить до года *u* и не заболеть злокачественным новообразованием *SF(u)* вычисляется по формуле:

$$SF(u) = exp\left[-10^{-5} \times \sum_{k=u_0-m}^{u-m-1} (\lambda_{k,s}^{mort,total} + \lambda_{k,s}^{inc,cancer} - \lambda_{k,s}^{mort,cancer} \right],$$

$\lambda_{k,s}^{mort,total}$ – показатель смертности от всех причин для пола *s* и возраста *k*; $\lambda_{k,s}^{inc,cancer}$ – показатель заболеваемости всеми злокачественными новообразованиями для пола *s* и возраста *k*; $\lambda_{k,s}^{mort,cancer}$ – показатель смертности от злокачественных новообразований для пола *s* и возраста *k*.

Пожизненный индивидуальный радиационный риск смертности от злокачественных новообразований

Пожизненный индивидуальный радиационный риск смертности от злокачественных новообразований ***ПРС*** вычисляется по формуле:

$$ПСР = \sum_{u=u_0}^{m+90} P(u) \times SM(u) \times \frac{\lambda_{u-m,s}^{mort,cancer}}{\lambda_{u-m,s}^{inc,cancer}}.$$

для $\lambda_{k,s}^{inc,cancer} > 0$, где *SM(u)*:

$$SM(u) = exp\left[-10^{-5} \times \sum_{k=u_0-m}^{u-m-1} \lambda_{k,s}^{mort,total} \right].$$

Годовой индивидуальный фоновый риск заболеваемости злокачественными новообразованиями

Исходными данными для вычисления годового индивидуального фонового риска заболеваемости злокачественными новообразованиями являются индивидуальные данные:

– уникальный идентификатор;

– пол;

– год рождения;

а также:

– календарный год, на который рассчитывается риск;

– половозрастные показатели заболеваемости всеми злокачественными новообразованиями в РФ: для каждого возраста от 17 лет до 90 лет, для мужчин и женщин, – число выявленных за год злокачественных новообразований на 100 тыс. населения соответствующего пола и возраста.

Для лица пола *s*, родившегося в году *m*, годовой индивидуальный фоновый риск заболеваемости злокачественными новообразованиями *Ф(u)* в календарном году *u* вычисляется по формуле:

$$\Phi(u) = 10^{-5} \times \lambda_{u-m,s}^{inc,\,cancer},$$

где $\lambda_{u-m,s}^{inc,\,cancer}$ – показатель заболеваемости всеми злокачественными новообразованиями для пола s и возраста $u-m$.

Список литературы к Приложению Б

1. Злокачественные новообразования в России в 2012 году (заболеваемость и смертность). Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. М.: ФГБУ МНИОИ им.П.А. Герцена, 2014.

2. Публикация 103 МКРЗ. Рекомендации 2007 года Международной Комиссии по Радиационной защите. М., 2009.

3. Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR VII Phase 2. Board on Radiation Effects Research. National Research Council of the National Academies, Washington, D.C.

4. Health risk assessment from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan earthquake and tsunami, based on a preliminary dose estimation.

5. gost.e-ecolog.ru

Приложение В (справочное)

Обозначения и сокращения

БД	–	база данных;
ВР	–	виртуальная реальность;
ГИС	–	геоинформационная система;
ЕУСОТ	–	единая унифицированная система оплаты труда;
ИАС РБП	–	информационно-аналитическая система по радиационной безопасности персонала;
ИБПО	–	индекс безопасности планируемого облучения;
ИИИ	–	источник ионизирующего излучения;
МКРЗ	–	Международная комиссия по радиологической защите;
НРБ	–	Нормы радиационной безопасности;
ОСПОРБ	–	Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности;
ПОВР	–	программное обеспечение по созданию виртуальной реальности;
ПРЗ	–	пожизненный индивидуальный радиационный риск заболеваемости злокачественными новообразованиями;
ПРС	–	пожизненный индивидуальный радиационный риск смертности от злокачественных новообразований;
ПСР	–	производственная система «Росатом»;
РБ	–	радиационная безопасность;
РО	–	радиационная обстановка;
СИЗ	–	средства индивидуальной защиты;
ТБ	–	техника безопасности.

Список литературы

1. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности. НРБ-99/2009. Санитарные правила и нормативы. – М.: Роспотребнадзор, 2009.

2. Радиационная защита и безопасность источников излучения. Международные основные нормы безопасности. Общие требования безопасности. Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 3. МАГАТЭ Вена, 2015.

3. СП-2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010): Санитарные правила и нормативы (в ред. Изменений № 1, утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 16.09.2013 № 43). М.: Роспотребнадзор, 2010.

4. Публикации МКРЗ. Публикация 103 МКРЗ. Рекомендации 2007 года Международной Комиссии по Радиационной Защите. М., 2009.

5. Публикации МКРЗ. Публикация 101 МКРЗ. Оценка дозы для референтного человека с целью радиационной защиты населения и оптимизация радиационной защиты: расширение процесса.

gost.e-ecolog.ru