*ООО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ «МЕДИНФО»*

«Утверждаю»

Генеральный директор

ООО «НПК «Мединфо»

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Никитина О.А.

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2015 г.

**ОТЧЕТ**

о выполнении научно-исследовательской работы по теме:

**«Определение индекса безопасности потенциального облучения и оптимизация радиационной защиты персонала предприятий Топливной компании ТВЭЛ   
на основе динамики индекса безопасности и действующих НРБ-99/2009»**

по третьему этапу работ по договору № 4/3383-Д от 23 декабря 2013 г.

Руководитель:

Заслуженный деятель науки РФ,

член-корр. РАН, профессор \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ В.К. Иванов

подпись, дата

Обнинск 2015 г.

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Научный руководитель темы, заслуженный деятель науки РФ,  член-корреспондент РАН, профессор |  | В.К. Иванов (введение, заключение) |
|  | подпись, дата |  |
|  |  |  |
| Ответственные исполнители |  |  |
|  |  |  |
| к.б.н. |  | А.Н. Меняйло (раздел 1.1) |
|  | подпись, дата |  |
|  |  |  |
| к.т.н. |  | А.И. Горский (раздел 1.2) |
|  | подпись, дата |  |
|  |  |  |
| к.т.н. |  | М.А. Максютов (раздел 1.3) |
|  | подпись, дата |  |
|  |  |  |
|  |  | С.Ю. Чекин (раздел 1.2, 1.4) |
|  | подпись, дата |  |
|  |  |  |
|  |  | Е.А. Пряхин (раздел 1.3) |
|  | подпись, дата |  |
|  |  |  |
|  |  | А.М. Корело (раздел 1.1) |
|  | подпись, дата |  |
|  |  |  |
| к.б.н. |  | К.А. Туманов (раздел 1.1) |
|  | подпись, дата |  |
|  |  |  |
| к.б.н. |  | В.В. Кащеев (раздел 1.3, 1.2) |
|  | подпись, дата |  |
|  |  |  |
| Нормоконтролер |  | В.Б. Подлещук |

РЕФЕРАТ

Отчет 72 с., 1 ч., 25 рис., 32 табл., 4 источника, 2 прил.

пожизненный атрибутивный радиационный риск, УЩЕРБ ЗДОРОВЬЮ, ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ, ВНУТРЕННЕЕ ОБЛУЧЕНИЕ, ИНДЕКС БЕЗОПАСНОСТИ, ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ ОБЛУЧЕНИЕ, ОБОБЩЕННЫЙ РИСК ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ

Объектом исследования являются эффективные дозы и пожизненные атрибутивные риски персонала предприятий Топливной компании ТВЭЛ, состоящего на индивидуальном дозиметрическом контроле (ИДК), в нормальных условиях облучения.

Конечная цель работы – определение индекса безопасности потенциального облучения (ИБПО) для персонала предприятий Топливной компании ТВЭЛ на объектовом уровне, учитывающего ограничение по потенциальному облучению (НРБ-99/2009, п. 2.3) и основной предел облучения за период трудовой деятельности (НРБ-99/2009, п. 3.1.4), на основе данных об эффективных дозах внешнего и внутреннего облучения.

На третьем этапе работ проведена оценка текущего ИБПО по предприятиям Топливной компании ТВЭЛ и для Топливной компании ТВЭЛ в целом; определены критические группы персонала по ИБПО по предприятиям Топливной компании ТВЭЛ и для Топливной компании ТВЭЛ в целом.

СОДЕРЖАНИЕ

[ОПРЕДЕЛЕНИЯ 5](#_Toc399760118)

[ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ 6](#_Toc399760119)

[ВВЕДЕНИЕ 7](#_Toc399760120)

[1 Разработка метода определения ИБПО для Топливной компании ТВЭЛ на объектовом уровне, на основе данных об эффективных дозах внешнего и внутреннего облучения персонала 10](#_Toc399760121)

[1.1 Оценка вероятности потенциальных облучений персонала предприятий Топливной компании ТВЭЛ, состоящего на ИДК 12](#_Toc399760122)

[1.2 Оценка обобщённого риска потенциального облучения персонала предприятий Топливной компании ТВЭЛ, состоящего на ИДК 18](#_Toc399760123)

[1.3 Разработка индекса безопасности потенциального облучения объектового уровня на примере ОАО «МСЗ» 42](#_Toc399760124)

[1.4 Определение критических групп персонала по ИБПО на примере ОАО «МСЗ» 47](#_Toc399760125)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 49](#_Toc399760126)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 53](#_Toc399760127)

[ПРИЛОЖЕНИЕ А.](#_Toc399760128) [Результаты оценки обобщенного риска потенциального облучения персонала предприятий Топливной компании ТВЭЛ в возрастных группах, для мужчин и женщин 54](#_Toc399760129)

[ПРИЛОЖЕНИЕ Б.](#_Toc399760130) [Результаты оценки индекса безопасности потенциального облучения персонала ОАО «МСЗ» в возрастных группах, для мужчин и женщин 71](#_Toc399760131)

# ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем отчете о НИР применяют следующие термины с соответствующими определениями.

*Радиационный риск смерти* (стохастический эффект) – увеличение частоты смерти, обусловленное воздействием ионизирующих излучений.

*Радиационный ущерб здоровью* (*Det*) – суммарный вред для здоровья человека, наносимый группе людей облучением от источника излучения. Его основными компонентами являются величины стохастического характера: вероятность развития смертельного радиационно-индуцированного онкологического заболевания, взвешенная вероятность развития наследственных радиационных эффектов и число лет жизни, потерянных в результате нанесения радиационного вреда.

*Избыточный абсолютный риск* (*EAR)* – абсолютное приращение частоты заболеваний в облученной когорте к частоте заболеваний в такой же необлученной когорте.

*Пожизненный атрибутивный риск (LAR)* – приращение пожизненного числа заболеваний в облученной когорте к пожизненному числу заболеваний в такой же необлученной когорте, нормированное на число лиц в когорте на начало наблюдения; при вычислении величины LAR изменением смертности от всех причин в когорте по причине облучения пренебрегается.

*Номинальный коэффициент риска –* усредненная по полу и возрасту на момент облучения оценка пожизненного риска для репрезентативной популяции.

*Коэффициент риска на единицу дозы* – величина радиационного риска, нормированная на единицу поглощённой или эквивалентной дозы.

*Коэффициент эффективности дозы и мощности дозы* (*DDREF*) – экспертно-оцененный параметр, который объясняет обычно сниженную биологическую эффективность (на единицу дозы) радиационного воздействия малых доз и малых мощностей доз, если сравнивать ее с эффективностью высоких доз и высоких мощностей доз.

# ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

|  |  |
| --- | --- |
| ДИ | – доверительный интервал |
| ИБПО | – индекс безопасности потенциального облучения |
| ИДК | – индивидуальный дозиметрический контроль |
| МАГАТЭ | – Международное агентство по атомной энергии |
| МКРЗ | – Международная комиссия по радиологической защите |
| ОРПО | – обобщенный риск потенциального облучения |
| Det | – радиационный ущерб здоровью |
| DDREF | – коэффициент эффективности дозы и мощности дозы |
| EAR | – избыточный абсолютный риск |
| LAR | – пожизненный атрибутивный риск |
| S | – функция дожития |

# ВВЕДЕНИЕ

В современной системе радиологической защиты МКРЗ [1] введены категории «ситуаций облучения», причём в ситуациях «планируемого облучения» выделяется подкатегория «потенциальное облучение». МКРЗ отмечает: «В ситуациях планового облучения вполне резонно ожидается, что будет получена определенная доза облучения. Вместе с тем, уровень облучения может оказаться более высоким вследствие отступления от плановых рабочих процедур и аварий, в том числе, связанных с потерей контроля над источниками излучения и злоумышленными действиями. Такое облучение заранее не планируется, хотя сама возможность такой ситуации предусматривается. Комиссия называет это потенциальным облучением» [1] (п. 262).

По мнению МКРЗ, потенциальное обучение подразумевает три типа событий: 1) при которых потенциальное облучение может коснуться главным образом людей, которые подвергаются плановому облучению; 2) при которых потенциальное облучение может затронуть большее количество людей; 3) при которых потенциальное облучение может произойти в далеком будущем и дозы облучения будут получены на протяжении длительного периода времени. К обеспечению радиационной безопасности персонала в условиях потенциального облучения относится, прежде всего, первый тип из выше перечисленных событий.

В ситуации планируемого облучения при обычной практической деятельности облучение персонала является результатом нормальных условий работы. При этом величина облучений варьирует с изменением условий работы. Некоторые вариации в облучении являются ожидаемыми и могут быть подвергнуты управленческому или регуляторному контролю. Однако, иногда могут возникать вариации облучения, которые не могут рассматриваться как обычные. Они могут привести к годовым дозам за пределами диапазона величин годовых доз, характерных для ситуаций планируемого облучения, но необязательно за установленными НРБ дозовыми пределами. В Рекомендациях МКРЗ 2007 г. отмечается, что обычно существует связь между потенциальными облучениями и облучениями, возникающими в ситуациях планируемого облучения [1] (п. 263). В случае облучения персонала, решения, касающиеся оценки потенциального облучения, могут основываться на обобщении имеющейся информации об облучении в нормальной контролируемой ситуации [1] (п. 268). В нормальной ситуации с увеличением дозы риск увеличивается, но вероятность такого облучения обычно уменьшается. Здесь следует ещё раз подчеркнуть, что понятие потенциального облучения, приведённое в Рекомендациях МКРЗ 2007 г. покрывает все диапазоны пределов и ограничений, и на него распространяется принцип оптимизации.

По мнению МКРЗ ([1], п. 266), «Оценка потенциального облучения для целей планирования или оценки защитных мероприятий обычно основывается на:

а) разработке типичных сценариев, которые представляют последовательность событий, приводящих к облучениям;

б) оценке вероятностей каждой из этих последовательностей;

в) оценке результирующей дозы;

г) оценке ущерба, связанного с такой дозой;

д) сравнении результатов с некоторым критерием приемлемости;

е) оптимизации защиты, что может потребовать нескольких итераций предыдущих шагов».

По мнению МКРЗ ([1], п. 267), «Решения о приемлемости потенциальных облучений должны учитывать как вероятность возникновения облучения, так и его величину. … полезно рассматривать индивидуальную вероятность радиационно-обусловленной смерти, нежели эффективную дозу. Для этой цели вероятность определяется как произведение вероятности получить определённую дозу в год и пожизненной вероятности радиационно-обусловленной смерти от этой полученной дозы. Результирующая вероятность затем может сравниваться с ограничением риска».

По потенциальному облучению персонала Комиссия рекомендует использовать понятие рисковых, а не дозовых ограничений, на уровне ограничений обобщённого риска 2×10-4 в год [1] (п. 268).

Эта рекомендация, с уточнением понятия обобщённого риска, принята и в действующих российских Нормах радиационной безопасности НРБ-99/2009 (СанПиН 2.6.1.2523-09) [2], (п. 2.3) «При обосновании защиты от источников потенциального облучения в течение года принимаются следующие граничные значения обобщенного риска (произведение вероятности события, приводящего к облучению, и вероятности смерти, связанной с облучением):

- персонал - 2,0×10-4, год-1;

- население - 1,0×10-5, год-1».

Действующие НРБ-99/2009 содержат основные пределы облучения, ориентированные на индивидуума (п. 2.3, 3.1 и 3.2). Например, для персонала предел индивидуального риска от облучения в течение года составляет 1×10-3 (п. 2.3: «пределы доз ... устанавливаются исходя из следующих значений индивидуального пожизненного риска: – для персонала – 1,0×10-3»). При достижении этого индивидуального предела 100%-ми лиц из персонала группы А, граничное значение обобщённого риска было бы превышено в пять раз. Если при облучении в течение года группы из 10-ти человек один человек будет иметь риск 1×10-3/год, а девять – 1,1×10-4/год, то обобщённый риск = (1×1×10-3 + 9×1,1×10-4)/10 =1,99×10-4/год, т.е. чуть меньше граничного значения ОРПО.

Таким образом, ограничение обобщённого риска должно относиться к группе лиц, для его соблюдения к пределам облучения может приближаться только какая-то часть из группы персонала. Фактически, это ограничение нормативно закрепляет достигнутый уровень радиационной безопасности на предприятиях атомной отрасли.

В соответствии с принципом оптимизации (НРБ-99/2009, п. 2.1), обобщённый риск должен поддерживаться на возможно низком и достижимом уровне, при условии одновременного соблюдения ограничения обобщённого риска и индивидуальных пределов облучения.

# 1 Оценка текущего ИБПО по предприятиям Топливной компании ТВЭЛ и для Топливной компании ТВЭЛ в целом

На третьем этапе выполнения работ по определению индекса безопасности потенциального облучения и оптимизации радиационной защиты персонала предприятий Топливной компании ТВЭЛ (далее персонал) ставится задача по оценке текущего ИБПО по предприятиям Топливной компании ТВЭЛ и для Топливной компании ТВЭЛ в целом. На основе полученных оценок необходимо провести определение критических групп персонала по ИБПО по предприятиям Топливной компании ТВЭЛ и для Топливной компании ТВЭЛ в целом.

На втором этапе выполнения работ по настоящему договору было определено, что одновременное соблюдение ограничения ОРПО<2∙10-4/год и предела индивидуального пожизненного риска ***r*** персонала от накопленной дозы может контролироваться с помощью Индекса безопасности потенциального облучения (ИБПО):

, (1.1)

где , ,

где ***ri*** – индивидуальный пожизненный риск ***i***-го лица из персонала от накопленной дозы, ***n*** – число лиц в группе, 4,1∙10-2 Зв-1 – номинальный коэффициент риска злокачественных новообразований на единицу дозы, ***d***=1 Зв – предельная доза облучения за период трудовой деятельности (50 лет) согласно п. 2.3 НРБ-99/2009.

Для расчета индивидуального пожизненного риска ***i***-го лица из персонала от накопленной дозы используется методика разработанная на первом этапе выполнения работ по настоящему договору.

На предыдущем этапе выполнения работ по настоящему договору ОРПО вычислялся двумя способами: с использованием пожизненного риска смерти (LAR) и радиационного ущерба здоровью (Det) (1.2.8, 1.2.9 и 1.2.16, 1.2.17; Второй отчет). Также производилась консервативная (максимальная) оценка ОРПО с учетом верхней границы 95% доверительного интервала для обоих способов (1.2.10, 1.2.11 и 1.2.18, 1.2.19; Второй отчет). Аналогичным образом были произведены и расчеты индекса безопасности потенциального облучения.

При наблюдении за изменением величин ИБПО было замечено, что нет существенных отличий при расчете ИБПО через ОРПО, вычисленный через пожизненный риск (LAR), и через ОРПО, вычисленный через радиационный ущерб здоровью (Det). По этой причине на третьем этапе работ индекс безопасности потенциального облучения определялся только с использованием ОРПО, который был вычислен с использованием пожизненного атрибутивного риска.

Для упрощения расчетов, оценка пожизненного риска смерти как функции возраста при облучении при годовой дозе 1 Зв потенциального облучения была аппроксимирована полиномом второй степени, рассчитанным от возраста при облучении (1.2.7; Второй отчет).

Так как персонал предприятий ТВЭЛ подвержен внешнему и внутреннему облучению, а пожизненный риск зависит от возраста при облучении, типа облучения и пола, ОРПО был рассчитан отдельно для мужчин и женщин и внутреннего и внешнего облучений.

Из вышеописанного следует, что обобщённый риск потенциального облучения (ОРПО) от потенциальных источников в течение предстоящего года определяется умножением коэффициента пожизненного риска смертности ***LAR*** для среднего возраста при облучении в группе на среднее значение годовых доз ***d*** внешнего или внутреннего облучения в рассматриваемой группе за референсный период времени, равный 5 годам, непосредственно предшествующим году, в котором производится оценка ОРПО. Данный метод является упрощенным, что приводит к погрешностям при вычислении ОРПО, а затем и ИБПО.

На третьем этапе выполнения работ по настоящему договору ОРПО рассчитывался двумя методами: с использованием пожизненного риска смертности для среднего возраста при облучении в половозрастной группе и среднего пожизненного риска смертности в половозрастной группе. Метод, в котором для расчета ОРПО используется средний пожизненный риск смертности группы, является точным и позволяет получить более точные оценки ОРПО, что приводит увеличению точности расчета ИБПО.

Сначала по методу, разработанному на первом этапе выполнения работ по настоящему договору, определяется индивидуальный пожизненный риск ***i***-го лица из половозрастной группы от накопленной дозы, а затем находится среднее от полученных величин:

для мужчин

**,** (1.2)

для женщин

**,** (1.3)

где ***LARi,м(ж)*** - индивидуальный пожизненный риск ***i***-го лица из половозрастной группы, ***n –*** численность половозрастной группы.

Для консервативной (максимальной) оценки при использовании верхней границы 95% ДИ для среднего значения индивидуальных пожизненных рисков персонала, ОРПО определяется следующим образом:

для мужчин

**,** (1.4)

для женщин

**,** (1.5)

…..Здесь надо поговорить про взвешенное орпо, про вычисление ибпо от этих величин, что мол невозможно посчитать руками, т.к. сложные формулы, поэтому надо сделать было модуль и тд…….