DOI: 10.21870/0131-3878-2018-27-3-24-31

УДК 614.876

К вопросу о минимизации потенциального вреда здоровью при планируемом повышенном облучении персонала радиационно опасных организаций

Корело А.М.^{1,2}, Чекин С.Ю.^{1,2}, Бочаров К.Г.³, Усольцев В.Ю.³

¹ МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал «НМИЦ радиологии» Минздрава России, Обнинск;

² ООО «НПК «Мединфо», Обнинск;

³ Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом», Москва

Представлен подход, позволяющий обосновывать управленческие решения, направленные на минимизацию потенциального вреда здоровью персонала радиационно опасных организаций при планируемом повышенном облучении (ППО). Представленный подход основан на ранжировании персонала, допущенного к планируемому повышенному облучению, по величине ожидаемого индивидуального риска. Показатели ожидаемого индивидуального радиационного риска рассчитывали с помощью разработанной компьютерной программы «ППО». Основу программы «ППО» составили математические модели радиационного риска, рекомендованные Международной комиссией по радиологической защите. Были выполнены расчёты показателей риска для персонала 105 радиационно опасных организаций, входящих в контур управления Госкорпорации «Росатом». Для каждого работника были рассчитаны показатели радиационного риска при планируемом облучении дозой 200 мЗв с учётом накопленного облучения, а также определена предельная величина индивидуальной дозы повышенного облучения. Предельная величина индивидуальной дозы повышенного облучения определялась таким образом, чтобы отношение радиационного риска к фоновому риску у работника не превышало установленный контрольный уровень. Показано, что при планировании повышенного облучения дозой 200 мЗв максимальное отношение индивидуальных рисков не превысит 33%, а среднее по всем работникам отношение рисков составит 8%. Для 450 работников определена и рекомендована предельная доза планируемого повышенного облучения в диапазоне [100 мЗв; 200 мЗв].

Ключевые слова: радиация, индивидуальный риск, коллективный риск, планируемое повышенное облучение, персонал, радиационно опасные организации, доза облучения, программа «ППО», показатели риска, Госкорпорация «Росатом».

Введение

Техногенное облучение ионизирующей радиацией в контролируемых условиях является источником риска для здоровья персонала. К контролируемым условиям относят нормальные условия эксплуатации источников излучения и планируемое повышенное облучение (ППО). Планируемое повышенное облучение – это облучение персонала (группы А) выше установленных пределов доз с целью предупреждения развития радиационной аварии или ограничения её последствий. Обоснованием такого облучения является то, что планируемое повышенное облучение может быть разрешено только в случае необходимости спасения людей и (или) предотвращения их облучения. При этом предполагается, что ущерб здоровью от превышения пределов доз у лиц из персонала будет значительно меньше, чем потенциальный ущерб для людей в случае развития радиационной аварии.

Требования к ограничению техногенного облучения в части, касающейся планируемого повышенного облучения, включают обязательное информирование работника о дозе облучения и риске для здоровья [1, 2]. Так как радиационный риск человека зависит не только от дозы облучения, но и, в общем случае, от возраста и пола, то коллективный радиационный риск яв-

Корело А.М.* – ст. научн. сотр.; Чекин С.Ю. – зав. лаб. МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России. Бочаров К.Г. – зам. ген. инспектора; Усольцев В.Ю. – гл. специалист отдела ГИ. Госкорпорация «Росатом».

*Контакты: 249036, Калужская обл., Обнинск, ул. Королёва, 4. Тел.: (484) 399-32-47; e-mail: nrer@obninsk.com.

ляется более точным и гибким инструментом оптимизации радиационной защиты, чем коллективная эффективная доза. В ходе организации работ, связанных с планируемым повышенным облучением, необходимо добиваться снижения ожидаемого коллективного радиационного риска с учётом ограничений, установленных в нормативных документах для индивидуальных радиационных рисков и доз облучения.

Материалы и методы

Наиболее простым методом снижения ожидаемого коллективного риска является ранжирование персонала, допущенного к планируемому повышенному облучению, по величине ожидаемого индивидуального риска. Такое ранжирование позволит в первую очередь привлекать к выполнению работ, связанных с повышенным облучением, работников с наименьшим ожидаемым риском.

Чтобы выполнить ранжирование, необходимо провести расчёт показателей индивидуального радиационного риска. Подготовка исходных данных и расчёт показателей радиационного риска для каждого работника, допущенного к планируемому повышенному облучению, были выполнены по методике, приведённой в [3]. Все вычисления проводились с помощью разработанной компьютерной программы «ППО».

Исходными данными для расчётов показателей рисков были результаты индивидуального дозиметрического контроля персонала радиационно опасных организаций Госкорпорации «Росатом», содержащиеся в базе данных системы АРМИР [4]. По состоянию на начало 2018 г. в базе данных хранилась информация из 105 организаций. К планируемому повышенному облучению могут быть допущены только мужчины в возрасте от 30 лет [2]. Для выполнения расчётов показателей рисков была использована информация о 43841 работнике, из них 22456 человек имели стаж работы с источниками ионизирующего излучения более 10 лет. Средний возраст составил 44 года (47 лет у лиц со стажем работы более 10 лет). Подготовленная к выполнению расчётов база данных содержала 804531 запись о годовых дозах облучения персонала. Средняя накопленная доза составила 36 мЗв (62 мЗв у лиц со стажем работы более 10 лет).

Согласно НРБ-99/2009 [2], допускается планируемое повышенное облучение дозой до 200 мЗв в год. Для каждого работника были рассчитаны основной и дополнительный показатели риска при планируемом облучении дозой 200 мЗв с учётом накопленного облучения, а также определена предельная величина индивидуальной дозы повышенного облучения.

Основной показатель индивидуального риска – это отношение ожидаемого радиационного риска к ожидаемому фоновому (т.е. в отсутствие облучения) риску за 30 предстоящих лет жизни (далее по тексту «отношение рисков»). Дополнительный показатель индивидуального риска – это ожидаемый радиационный ущерб за 30 предстоящих лет, выраженный в днях потерянной жизни. Ущерб может быть переведён в денежную форму с использованием величины денежного эквивалента потери 1 человеко-года жизни, который устанавливается отдельными документами федерального уровня в размере не менее 1 годового душевого национального дохода.

Предельная величина индивидуальной дозы повышенного облучения определялась таким образом, чтобы отношение рисков у работника не превышало контрольный уровень. Контрольный уровень является параметром оптимизационного процесса, и его величина устанавливается на основе анализа ожидаемых рисков.

Результаты и обсуждение

В настоящее время нет аттестованных программных средств по расчёту радиационного риска в соответствии с методикой [3], положенной в основу компьютерной программы «ППО». В связи с этим было проведено сравнение результатов расчётов годового индивидуального риска в программе «ППО» и в системе АРМИР [4], в которой используются математические модели радиационных рисков, рекомендованных НКДАР ООН [5]. Рассчитывались именно годовые риски потому, что в действующей версии системы АРМИР нет возможности вычислить отношение рисков и ожидаемый радиационный ущерб, в то время как годовые значения индивидуального радиационного риска являются базовыми величинами при расчёте этих показателей.

Результаты расчётного теста приведены на рис. 1, где каждый человек представлен точкой, в системе координат «риск, рассчитанный с помощью системы АРМИР – риск, рассчитанный с помощью программы «ППО». Показаны только те результаты расчёта, у которых риски не меньше 10^{-5} .

Если бы вычислительные алгоритмы сравниваемых программ были одинаковы, то результаты были бы представлены точками, лежащими на красной линии. Но основная масса точек расположена ниже этой линии. Это означает, что для большинства людей риски, рассчитанные с помощью программы «ППО», больше, чем риски по АРМИР (средний риск по «ППО» равен 0,000083, а средний риск по АРМИР равен 0,000061). Такое различие может быть обусловлено разницей в моделях риска, использованных в сравниваемых компьютерных программах. Приведённые результаты расчётного теста свидетельствуют, что в программе «ППО» годовые значения индивидуального радиационного риска вычисляются корректно.

На рис. 2 показано распределение численности работников по величине отношения рисков, рассчитанных с помощью программы «ППО».

Рис. 1. Сравнение индивидуальных рисков, рассчитанных с помощью системы АРМИР (вертикальная шкала) и с помощью программы «ППО» (горизонтальная шкала).

Рис. 2. Распределение численности работников по основному показателю риска.

Результаты, приведённые на рис. 2, были использованы для установления величины контрольного уровня. Чем меньше величина контрольного уровня, тем больше работников может попасть под ограничение планируемого облучения. Так, если контрольный уровень установить равным 10%, то отношение рисков превысит это значение у 10474 человек или 23,9% от общей численности персонала. Такая величина контрольного уровня приведёт к ограничению облучения почти четверти допущенного персонала, что может негативно сказаться на объёме и сроках выполнения действий и работ, связанных с повышенным облучением. Для целей оптимизации был выбран контрольный уровень отношения рисков, равный 15%, при этом контрольный уровень будет превышен у 756 человек, и для части из них может быть рекомендована предельная величина дозы планируемого повышенного облучения в диапазоне [100 мЗв; 200 мЗв].

Результаты расчёта основной и дополнительной мер индивидуального риска персонала, допущенного к планируемому повышенному облучению, были сведены в протоколы по каждой из 105 организаций. Протокол состоит из названия организации и трёх разделов: «Сводные характеристики персонала, допущенного к планируемому повышенному облучению», «Оптимальный вариант планируемого повышенного облучения персонала дозой 200 мЗв», «Рекомендации по ограничению планируемого повышенного облучения персонала дозами от 100 до 200 мЗв». Пример протокола по одной из организаций приведён на рис. 3.

В разделе «Сводные характеристики персонала, допущенного к планируемому повышенному облучению» приведены численность, средний возраст и средняя накопленная доза всего персонала и квалифицированного (со стажем работы более 10 лет) персонала.

В разделе «Оптимальный вариант планируемого повышенного облучения персонала дозой 200 мЗв» приведены результаты ранжирования персонала организации по величине основной меры индивидуального риска для случая облучения дозой 200 мЗв. Результаты ранжирования представлены в виде таблицы, состоящей из 10 строк и 6 столбцов. Результаты ранжирования сгруппированы по относительной численности персонала организации. Группировка произведена с накопительным шагом 10% (первый столбец таблицы), т.е. в первой строке таблицы приведены результаты для первых 10% от общей численности персонала, во второй строке – для первых 20% от общей численности персонала, в последней строке таблицы – для всего персонала. Содержание первой строки таблицы следует понимать так: «Если для плани-

руемого повышенного облучения дозой 200 мЗв привлечь первые по порядку ранжирования 10% от общей численности персонала, то из 470 человек (второй столбец) 312 человек (третий столбец) будут иметь стаж работы более 10 лет. Отношение рисков у всех 470 человек будет не более 5,20% (четвёртый столбец). Ожидаемый ущерб для этой группы составит 13334 человеко-дней (пятый столбец), что на 53% меньше (шестой столбец), чем при привлечении к планируемому повышенному облучению последних по порядку ранжирования 470 человек».

Сводные характеристики персонала, допущенного к планируемому повышенному облучению					
Число лиц, чел.				4702	
из них число лиц со стажем работы более 10 лет, чел.				3523	
Средний возраст, лет				44	
Средний возраст у лиц со стажем работы более 10 лет, лет				45	
Средняя накопленная доза, мЗв				49,49	
Средняя накопленная доза у лиц со стажем работы более 10 лет, мЗв				61,88	
Оптимальный вариант планируемого повышенного облучения персонала дозой 200 мЗв					
Относительное число лиц, %	Число лиц, чел.	Число лиц со стажем работы более 10 лет, чел.	Максимальное отношение рисков, %	Ожидаемый ущерб, чел.-дн.	Относительное изменение ожидаемого ущерба, %
0 - 10	470	312	5,20	13 344	-53
0 - 20	940	643	6,11	31 005	-38
0 - 30	1410	1000	6,87	51 079	-29
0 - 40	1880	1380	7,68	72 912	-23
0 - 50	2350	1762	8,43	95 758	-18
0 - 60	2821	2139	9,27	118 796	-15
0 - 70	3291	2507	10,13	141 085	-13
0 - 80	3761	2841	11,04	163 025	-10
0 - 90	4231	3138	12,05	184 444	-8
0 - 100	4702	3523	23,56	212 922	0
Рекомендации по ограничению планируемого повышенного облучения персонала дозами от 100 до 200 мЗв					
Число лиц, у которых отношение рисков может превысить контрольный уровень, чел.				67	
Число лиц, которым рекомендовано ограничение планируемого повышенного облучения, чел.				48	
Список лиц, которым рекомендовано ограничение планируемого повышенного облучения с целью непревышения контрольного уровня отношения рисков					
ID	Возраст, лет	Стаж, лет	Накопленная доза, мЗв	Предельная планируемая доза, мЗв	
...	30	12	64,72	180	
...	54	35	356,46	160	
...	...	...	...	...	

Рис. 3. Пример протокола планируемого повышенного облучения дозой 200 мЗв.

В разделе «Рекомендации по ограничению планируемого повышенного облучения персонала дозами от 100 до 200 мЗв» приведено число лиц, у которых отношение рисков превышает контрольный уровень при облучении дозами от 100 до 200 мЗв. Эта группа лиц состоит из двух подгрупп. В первую подгруппу входят лица, у которых отношение рисков превышает контрольный уровень во всем диапазоне доз облучения [100 мЗв; 200 мЗв]. Во вторую подгруппу входят

лица, у которых отношение рисков превышает контрольный уровень только в части диапазона доз [100 мЗв; 200 мЗв]. Для второй подгруппы можно рекомендовать ограничение облучения с целью непревышения контрольного уровня отношения рисков. Число лиц второй подгруппы и список этих лиц также приведены в этом разделе протокола оптимизации планового повышенного облучения. Список включает идентификатор работника (уникальный номер работника в базе данных индивидуального дозиметрического контроля), возраст, стаж, накопленную дозу облучения, предельную дозу планируемого повышенного облучения.

В целом по Госкорпорации «Росатом» по данным на начало 2018 г. к работам, связанным с планируемым повышенным облучением, может быть допущен 43841 работник. Накопленная коллективная доза составляет 1596 чел.-Зв, из них 87,5% приходится на лиц, имеющих стаж работы более 10 лет.

При планировании повышенного облучения дозой 200 мЗв максимальное отношение индивидуальных рисков составило 32,38%. Среднее по всем работникам отношение рисков составило 8,1%.

В 20 организациях отношение ожидаемых индивидуальных рисков может превысить контрольный уровень: 10 организаций из Электроэнергетического дивизиона, 1 организация из Тепливого дивизиона, 1 организация из Горнорудного дивизиона, 3 организации из Ядерного оружейного комплекса, 2 организации из Дивизиона заключительной стадии жизненного цикла, 2 организации из Блока по управлению инновациями, 1 организация из группы Радиационные технологии. В Инжиниринговом и Машиностроительном дивизионах таких организаций нет.

При облучении дозами от 100 до 200 мЗв у 756 лиц отношение рисков превысит контрольный уровень. Для 450 из них определена и рекомендована такая предельная доза планируемого повышенного облучения в диапазоне [100 мЗв; 200 мЗв], при которой контрольный уровень отношения рисков не будет превышен. Для оставшихся 306 лиц предельная доза была бы меньше 100 мЗв.

Заключение

Объективной основой для принятия решений по вопросам безопасности, связанных с организацией работ в ситуации планируемого повышенного облучения, является анализ соответствующих радиационных рисков. Приведенный в статье подход позволяет обосновать управленческие решения, направленные на минимизацию потенциального вреда здоровью персонала радиационно опасных организаций при планируемом повышенном облучении.

Литература

1. Федеральный закон от 9 января 1996 г. № 3-ФЗ (ред. от 19.07.2011 г. № 248-ФЗ) «О радиационной безопасности населения». [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8797/ (дата обращения 20.06.2018).
2. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 100 с.
3. Оценка индивидуальных рисков для здоровья сотрудников Росатома в связи с внешним облучением //Радиация и риск. 2017. Т. 26, № 2. С. 7-25.
4. **Иванов В.К., Корело А.М., Туманов К.А., Чекин С.Ю., Адамчик С.А., Михеенко С.Г., Панфилов А.П., Усольцев В.Ю.** Мониторинг профессиональных радиационных рисков работников атомной промышленности (система АРМИР) //Радиация и риск. 2016. Т. 25, № 1. С. 16-24.
5. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2006 Report. Vol. I: Report to the General Assembly, Scientific Annexes A and B; Vol. II: Scientific Annexes C, D and E. New York: UN, 2008.

On minimization of potential harm to health from the planned special exposure of the personnel of radiation hazardous facilities

Korelo A.M.^{1,2}, Chekin S.Yu.^{1,2}, Bocharov K.G.³, Usoltsev V.Yu.³

¹ A. Tsyb MRRC, Obninsk;

² Medinfo LLC, Obninsk;

³ ROSATOM State Atomic Energy Corporation, Moscow

The method that substantiates the management decisions to minimize potential harm to health of employees at radiation hazardous facilities associated with the planned special exposure is presented in the article. The simple way to reduce collective radiation-associated risk for the employees is to distribute those admitted to the planned special exposure in accordance with the value of their expected individual risk. This approach will allow selecting the workers with the least expected risk. The risk was calculated with the use of computer program "PPO" based on ICRP mathematical models recommended for assessment of radiation risks. Risk values were estimated for employees at 105 radiation hazardous facilities affiliated to the State Corporation "Rosatom". Potential health risks related to the planned special exposure were calculated for every employee, who could receive integrated dose of 200 mSv including radiation doses received previously. The basic parameter of the individual risk is the ratio of expected risk, associated with the planned special exposure, to expected individual health risk, associated with exposure to background radiation for subsequent 30 years, it is expressed as the number of lost days of life. For estimation of the maximum individual dose to be received by an employee as a result of the elevated exposure the following requirement should be met: the worker's risks ratio should not exceed the estimated limit determined from analysis of expected risks. When planning the special exposure to a dose of 200 mSv, the highest ratio of individual risks should not exceed 33%, and the averaged employees' risk ratio should be 8%. Maximum radiation dose, that could be received by 450 employees as a result of the planned special exposure was calculated. The doses meeting the above requirement vary between 100 mSv and 200 mSv. It is recommended to use this dose range when planning special exposure.

Key words: radiation, individual risk, collective risk, planned special exposure, personnel, radiation hazardous facilities, dose exposure, PPO program, risk indicators, State Corporation Rosatom.

Korelo A.M.* – Senior Researcher; **Chekin S.Yu.** – Head of Lab. A. Tsyb MRRC. **Bocharov K.G.** – Deputy Inspector General; **Usoltsev V.Yu.** – Chief Specialist of Dep. State Corporation ROSATOM.

*Contacts: 4 Korolev str., Obninsk, Kaluga region, Russia, 249036. Tel.: (484) 399-32-47; e-mail: nrer@obninsk.com.

References

1. Federal Law "On Radiation Safety of the Population" N 3-FZ, dated 09.01.1996 (revised 19.07.2011 N 248-FZ). Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8797/ (Accessed 20.06.2018). (In Russian).
2. *Radiation safety standards (RSS-99/2009)*. Sanitary-epidemiological rules and standards. Moscow, Federal Center of Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2009. 100 p. (In Russian).
3. Individualized radiation health risks for workers of Rosatom due to planned occupational exposure to external radiation. *Radiatsiya i risk – Radiation and Risk*, 2017, vol. 26, no. 2, pp. 7-25. (In Russian).
4. **Ivanov V.K., Korelo A.M., Tumanov K.A., Chekin S.Yu., Adamchik S.A., Mikheenko S.G., Panfilov A.P., Usoltsev V.Yu.** Monitoring of occupational radiation risks of nuclear industry workers (ARMIR system). *Radiatsiya i risk – Radiation and Risk*, 2016, vol. 25, no. 1, pp. 16-24. (In Russian).
5. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2006 Report. Vol. I: Report to the General Assembly, Scientific Annexes A and B; Vol. II: Scientific Annexes C, D and E. New York, UN, 2008.