DOI: 10.21870/0131-3878-2017-26-3-19-27

Риск-ориентированный подход к оптимизации радиологической защиты персонала группы А Госкорпорации «Росатом»: формирование критических групп

Иванов В.К.¹, Корело А.М.¹, Чекин С.Ю.¹, Панфилов А.П.², Михеенко С.Г.², Усольцев В.Ю.²

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

² Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом», Москва

Разработана технология оптимизации радиологической защиты персонала группы А Госкорпорации «Росатом» на основе минимизации дозовых нагрузок работников, включённых в группы повышенного риска. Рассматриваются 4 группы повышенного риска (ГПР): 1 ГПР – накопленная доза (CD) >150 мЗв, абсолютный радиационный риск (EAR) $\leq 10^{-3}$, атрибутивная доля ARF $\leq 10\%$; 2 ГПР – CD >150 мЗв, EAR $\leq 10^{-3}$, ARF >10%; 3 ГПР – CD >150 мЗв, EAR >10⁻³, ARF $\leq 10\%$; 4 ГПР – CD >150 мЗв, EAR >10⁻³, ARF >10%. Установлено, что к 1 ГПР отнесено 3,54% всего персонала группы А, к 2 ГПР – 0,54%, к 3 ГПР – 0,44% и к 4 ГПР – 0,77%. По каждой группе повышенного риска даны средние значения абсолютного риска и атрибутивной доли. Так, в 4 ГПР среднее значение абсолютного риска равно $1,83 \cdot 10^{-3}$, а атрибутивной доли – 14,04%. Эти значения существенно превышают предельные значения по критериям МАГАТЭ по отнесению к группам повышенного риска. Предложенная технология обеспечивает нормальные условия эксплуатации установок за счёт сохранения текущего значения коллективной эффективной дозы персонала. Рассматриваемая технология основана на современных заключениях НКДАР ООН, рекомендациях МКРЗ и стандартах МАГАТЭ по оценке радиационных рисков и оптимизации радиологической защиты в категории профессионального облучения.

Ключевые слова: оптимизация радиологической защиты, критерии радиационной безопасности МАГАТЭ, формирование групп повышенного риска, персонал группы А, Госкорпорация «Росатом», минимизация радиологических (канцерогенных) эффектов, перераспределение дозовых нагрузок персонала, коллективная доза, избыточный абсолютный риск, атрибутивная доля.

В Основах государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности в Российской Федерации на период до 2025 года, утверждённых Президентом Российской Федерации, подчёркивается необходимость практической реализации «концепции социально приемлемого риска». В опубликованных недавно МАГАТЭ Международных основных нормах безопасности указывается (п. 3.110), что именно работодатель несёт ответственность за объективность оценки радиационного риска работника за весь период его профессиональной деятельности.

В результате проведения многолетних крупномасштабных радиационно-эпидемиологических исследований в Хиросиме и Нагасаки после атомной бомбардировки в 1945 г. этих японских городов было, в частности, установлено, что смертность облучённого в дозе 1 Зв населения возросла на 4-7% за счёт радиационно-обусловленных дополнительных онкологических заболеваний. Эта базовая оценка радиационного риска была использована при обосновании пределов доз годового облучения и вошла в действующие международные рекомендации [1] и национальные нормы радиационной безопасности. В российские Нормы радиационной безо-

Иванов В.К.* – Председатель РНКРЗ, зам. директора по научн. работе, чл.-корр. РАН; Корело А.М. – ст. научн. сотр.; Чекин С.Ю. – зав. лаб. МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России. Панфилов А.П. – советник СГИК, к.т.н., член РНКРЗ; Михеенко С.Г. – начальник отдела ГИ, к.ф.-м.н.; Усольцев В.Ю. – главный специалист отдела ГИ. Госкорпорация «Росатом».

*Контакты: 249036, Калужская обл., Обнинск, ул. Королева, 4. Тел.: (484) 399-33-90; e-mail: nrer@obninsk.com.

пасности (НРБ-99/2009) включены рискованные ограничения для персонала в условиях нормальной эксплуатации источников ионизирующего излучения (10^{-3} год $^{-1}$) и потенциального облучения ($2 \cdot 10^{-4}$ год $^{-1}$), предложенные Международной комиссией по радиологической защите.

По данным системы мониторинга профессионального риска АРМИР [2] за 2016 г. радиационный риск определен для 99,4% персонала из 65988 человек, состоящих на индивидуальном дозиметрическом контроле (ИДК) в организациях Госкорпорации «Росатом». Превышение порогового значения 10^{-3} выявлено только у 1,2% персонала группы А. Текущее состояние системы АРМИР ежегодно отражается в Публичном годовом отчете Госкорпорации «Росатом» [3].

Согласно исследованиям Международной организации труда и Всемирной организации здравоохранения в настоящее время ежегодно среди 1 млн работников примерно 200 несчастных случаев на производстве приводят к летальному исходу. Это означает, что вероятность такого события для работника составляет примерно $2 \cdot 10^{-4}$ год $^{-1}$, что совпадает с величиной предельного значения обобщенного риска потенциального облучения.

Показатели риска

Основным неблагоприятным эффектом воздействия ионизирующей радиации на здоровье человека является, как известно, увеличение риска возникновения онкологического заболевания. В зависимости от конкретной ситуации принято использовать ряд основных и дополнительных (характеризующих радиационное воздействие) показателей риска.

В отсутствие облучения основным показателем риска является показатель фоновой или спонтанной онкологической заболеваемости λ_0 (обычно это число онкологических заболеваний в год на 100 тыс. человек). Воздействие радиации приводит к увеличению риска λ_0 на дополнительную величину λ_R . Таким образом, полный риск заболевания λ будет суммой фонового и радиационного риска:

$$\lambda = \lambda_0 + \lambda_R. \quad (1)$$

Фоновые показатели заболеваемости зависят от возраста u и пола s : т.е. $\lambda_0(u, s)$, а радиационный риск в общем случае зависит от дозы облучения D , текущего возраста u , пола s и возраста на момент облучения g : $\lambda_R(u, s, D, g)$. Отсюда формула (1) примет вид:

$$\lambda(u, s, D, g) = \lambda_0(u, s) + \lambda_R(u, s, D, g). \quad (2)$$

Международная комиссия по радиологической защите использует для радиогенного риска λ_R аббревиатуру **EAR** – (*Excess Absolute Risk, избыточный абсолютный риск*).

Важной характеристикой воздействия радиации на уровень онкологической заболеваемости является также величина атрибутивной доли **ARF**:

$$ARF = \frac{EAR}{\lambda_0 + EAR} \cdot 100 \%. \quad (3)$$

Определим величину атрибутивной доли, соответствующей граничному значению обобщенного риска потенциального облучения – $EAR = 2 \cdot 10^{-4}$ год $^{-1}$. В среднем для персонала

группы А она составит около 18%, поскольку средний возраст персонала (мужчины) составляет 42,5 года, а спонтанный уровень онкологической заболеваемости для этой возрастной группы $\lambda_0 = 9 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$ [4].

В облучённой популяции атрибутивная доля есть отношение числа радиационно-обусловленных заболеваний ко всему количеству заболеваний. Эта величина также получила название «этиологической доли» [5].

Для конкретного облучённого человека атрибутивная доля интерпретируется как величина шансов, что рак был вызван облучением. В ведущих ядерных странах используются следующие граничные значения атрибутивной доли [6]: в Японии $ARF > 10\%$, в Англии – более 20%, в США верхняя граница 99% доверительного интервала величины ARF должна быть более 50%.

Критерии формирования групп повышенного риска

После аварии на АЭС Фукусима Дайчи МАГАТЭ организовало ряд крупных экспертных совещаний, по итогам которых в 2015 г. было опубликовано пятитомное издание. Четвёртый том этого издания [7] полностью посвящён проблеме радиологических последствий аварии на АЭС Фукусима Дайчи, включая оценку радиационных рисков на основе результатов, полученных в ходе исследований других крупных радиационных аварий. На рис. 1 и 2, взятых из публикации МАГАТЭ, проиллюстрированы основные результаты этих исследований.

На рис. 1 показана оценка относительного риска смертности от онкологических заболеваний для участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Как следует из рисунка, в зону статистически значимого радиационного риска попадают лица, имеющие дозы внешнего облучения более 150 мЗв. Из рис. 2 следует, что для этой когорты лиц относительный риск радиационно-обусловленных раков статистически значимо возрастает при атрибутивной доле более 10%. Указанные итоговые выводы экспертов МАГАТЭ основаны на многолетней работе Национального радиационно-эпидемиологического регистра, созданного в Российской Федерации после аварии на Чернобыльской АЭС [8].

Рис. 1. Оценка относительного риска смертности от онкологических заболеваний для различных дозовых групп [7].

Рис. 2. Зависимость относительного риска заболеваемости солидными раками от величины атрибутивной доли [7].

Для целей оптимизации радиологической защиты определим критическую группу лиц из персонала, состоящего на ИДК. Учитывая новые рекомендации МАГАТЭ [7] и действующие Нормы радиационной безопасности [9] можно сформулировать следующие критерии отнесения работника к критической группе:

1. Накопленная доза облучения **CD** более 150 мЗв;
2. Абсолютный радиационный риск **EAR** более 10^{-3} ;
3. Атрибутивная доля риска **ARF** более 10%.

На основании приведённых выше критериев сформируем 4 группы повышенного риска (ГПР):

- 1 ГПР – $CD > 150$ мЗв, $EAR \leq 10^{-3}$, $ARF \leq 10\%$;
- 2 ГПР – $CD > 150$ мЗв, $EAR \leq 10^{-3}$, $ARF > 10\%$;
- 3 ГПР – $CD > 150$ мЗв, $EAR > 10^{-3}$, $ARF \leq 10\%$;
- 4 ГПР – $CD > 150$ мЗв, $EAR > 10^{-3}$, $ARF > 10\%$.

Технология оптимизации радиологической защиты

Рассмотрим проблему формирования групп повышенного риска среди персонала Госкорпорации «Росатом».

На рис. 3 показано распределение персонала Госкорпорации «Росатом», имеющего накопленные дозы более 150 мЗв, по величине абсолютного и атрибутивного риска, а в табл. 1 и 2 приведены основные характеристики указанных выше групп повышенного риска на 2016 г.

Важно отметить, что для всего персонала группы А, включая и работников из групп повышенного риска, среднее значение абсолютного риска равно $7 \cdot 10^{-5}$, что много ниже порогового значения НРБ-99/2009 – 10^{-3} , а среднее значение атрибутивного риска – только 1,44%. Эти данные убедительно свидетельствуют о достаточно высоком уровне радиологической защиты персонала в отрасли.

Рис. 3. Распределение персонала Госкорпорации «Росатом», имеющего накопленные дозы более 150 мЗв, по величине абсолютного и атрибутивного риска (группам повышенного риска).

Таблица 1

Основные характеристики групп повышенного риска

Группа повышенного риска	Численность (чел.)	Доля от всего персонала группы А (%)	Средний возраст (лет)	Средний стаж на ИДК (лет)	Среднее значение абсолютного риска	Среднее значение атрибутивного риска (%)
1 ГПР	2323	3,54	53,7	28,5	0,000488	6,11
2 ГПР	357	0,54	45,7	24,8	0,000520	12,14
3 ГПР	290	0,44	64,3	38,8	0,001279	7,96
4 ГПР	502	0,77	58,7	35,6	0,001835	14,04
Все группы	3472	5,29	54,5	30,0	0,000752	8,03
Весь персонал	65614	100,00	43,3	12,3	0,000070	1,44

Таблица 2

Распределение групп повышенного риска по дивизионам Госкорпорации «Росатом»

Дивизион	Всего на ИДК (чел.)	Численность групп повышенного риска (чел.)				
		1 ГПР	2 ГПР	3 ГПР	4 ГПР	все группы
Электроэнергетический	27327	1650	269	189	445	2553
Топливный	9818	73	7	2	1	83
Горнорудный	3863	80	20	0	0	100
Ядерный оружейный комплекс	15005	302	40	34	28	404
Заключительной стадии жизненного цикла	4548	57	9	7	16	89
Блок по управлению инновациями	3863	156	12	56	12	236
Инжиниринговый	90	0	0	0	0	0
Машиностроительный	394	5	0	2	0	7
Радиационные технологии	402	0	0	0	0	0
Прочие	304	0	0	0	0	0
Росатом	65614	2323	357	290	502	3472

Вместе с тем, как видно из табл. 1, численность групп повышенного риска составляет 3472 человека (5,29% от численности всего персонала группы А). В 4 ГПР включено только 502 человека (0,77% от численности всего персонала, состоящего на ИДК). В этой группе выявлены максимальные средние значения абсолютного и атрибутивного рисков – $1,835 \cdot 10^{-3}$ и 14,04% соответственно. Обращает на себя внимание 2 ГПР, где среднее значение атрибутивного риска 12,14%, хотя средний возраст только 45,7 лет.

Как видно из табл. 2, 2553 человека из групп повышенного риска (73,5%) относятся к электроэнергетическому дивизиону, 404 человека (11,6%) – к ядерному оружейному комплексу и 236 работников (6,8%) – к блоку по управлению инновациями.

В табл. 3 показаны средние годовые дозы в группах повышенного риска за 2016 г. и пяти-летний период с 2012 по 2016 гг. Как видно из этой таблицы, дозовые нагрузки в группах повышенного риска значительно выше, чем у остального персонала из группы А. Действительно, коллективная доза персонала группы А в 2016 г. составила 108,9 чел.-Зв. Учитывая, что численность групп повышенного риска составляет только 5,29% от всего персонала, можно было бы ожидать, что их коллективная доза при равномерных дозовых нагрузках будет 5,8 чел.-Зв. Однако, как легко оценить по данным из табл. 1 и 3, фактическая коллективная доза групп повышенного риска в 2016 г. равна 15,4 чел.-Зв, что в 2,7 раза выше ожидаемого значения.

Таблица 3

Текущая дозовая нагрузка в группах повышенного риска

Группы повышенного риска	Средняя доза за 2016 г. (мЗв)	Средняя доза за 2012-2016 гг. (мЗв)
1 ГПР	4,2	23,3
2 ГПР	7,3	39,6
3 ГПР	2,4	15,4
4 ГПР	4,7	26,5
Весь персонал, кроме ГПР 1-4	1,5	6,8
Весь персонал	1,7	7,8

В НРБ-99/2009 отмечается (п. 2.2): «Для обоснования расходов на радиационную защиту при реализации принципа оптимизации принимается, что облучение в коллективной эффективной дозе в 1 чел.-Зв приводит к потенциальному ущербу, равному потере примерно 1 чел.-года» [9]. Учитывая достаточно высокую производительность труда в Госкорпорации «Росатом» (рост 9% в 2016 г. по сравнению с 2015 г.), уменьшение коллективной дозы в группе повышенного риска позволит достичь выраженного экономического эффекта за счёт предотвращённой потери чел.-лет жизни, выраженной в денежном эквиваленте, который устанавливается отдельными документами федерального уровня в размере не менее 1 годового душевого национального дохода на каждый 1 чел.-года жизни. Приведённые выше данные демонстрируют наличие возможностей для оптимизации радиологической защиты персонала.

В основополагающих принципах безопасности МАГАТЭ [10] подчёркивается (п. 3.21): «Меры по обеспечению безопасности, которые применяются в отношении установок и деятельности, связанных с радиационными рисками, считаются оптимизированными, если они обеспечивают наивысший уровень безопасности, который может быть реально достигнут, на протяжении всего жизненного цикла установки или всей деятельности без неоправданного ограничения их использования». Также отмечается (п. 3.22), что «риски ... должны периодически проходить последующую оценку на протяжении всего жизненного цикла установок и всей деятельности».

С учётом указанных рекомендаций задача оптимизации радиологической защиты персонала группы А может быть сформулирована следующим образом: минимизировать радиологические (канцерогенные) эффекты профессионального облучения и возможный экономический ущерб при условии сохранения или плавного снижения коллективной дозы, обеспечивающей

нормальное функционирование установок. При этом понятно, что величина коллективной дозы в отрасли постоянно сокращается примерно на 3-5% в год только за счёт использования новых технологических решений.

Решение поставленной задачи оптимизации радиологической защиты персонала может быть достигнуто с помощью технологии, включающей следующие основные этапы:

1. Формирование в организациях Госкорпорации «Росатом» групп повышенного риска (1 ГПР-4 ГПР), в том числе с использованием системы АРМИР и дополнительного программного обеспечения АРМИР-ОПТИМА.

2. Определение конкретных лиц из групп повышенного риска, для которых предполагается сократить в предстоящем году дозовую нагрузку профессионального облучения. При этом особое внимание уделяется персоналу из 4 ГПР и учитываются производственные возможности по снижению облучения.

3. Определение лиц, не входящих в группы повышенного риска, для которых планируется повышение доз облучения.

4. Планирование дозовых нагрузок персонала для достижения целевого уровня коллективной дозы в организации. Оценка для всех кандидатов значений пожизненного радиационного риска с учётом уже накопленных доз облучения и планируемых повышенных дозовых нагрузок [11], с использованием системы АРМИР-ОПТИМА.

5. Окончательный выбор сотрудников, для которых планируется повышение годовой дозы облучения, при условии минимизации пожизненных радиационных рисков и с учётом дополнительных производственных факторов. Оценка динамики интегрального показателя радиационного риска.

Выводы

1. Разработана технология оптимизации радиологической защиты персонала группы А Госкорпорации «Росатом» на основе минимизации дозовых нагрузок работников, включённых в группы повышенного риска.

2. Предложенная технология обеспечивает нормальные условия эксплуатации установок за счёт достижения целевого значения коллективной дозы персонала.

3. Рассматриваемая технология основана на современных заключениях НКДАР ООН, рекомендациях МКРЗ и стандартах МАГАТЭ по оценке радиационных рисков и оптимизации радиологической защиты в категории профессионального облучения.

Литература

1. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103 //Ann. ICRP. 2007. V. 37, N 2-4.
2. **Иванов В.К., Корело А.М., Панфилов А.П., Райков С.В.** АРМИР: система оптимизации радиологической защиты персонала. М.: Изд-во «Перо», 2014. 302 с.
3. Публичный годовой отчёт Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом», 2015.
4. Злокачественные новообразования в России в 2014 году (заболеваемость и смертность) /Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИРЦ» Минздрава России, 2016. 250 с.
5. Гигиена труда. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки. Р2.2.1766-03. М.: Министерство здравоохранения РФ, 2003.
6. Approaches to attribution of detrimental health effects to occupational ionizing radiation exposure and their application in compensation programmes for cancer: a practical guide. Occupational Safety and Health Series, No. 73 /Eds.: S. Niu, P. Deboodt, H. Zeeb. Geneva: International Labour Organization, 2010. 99 p.
7. The Fukushima Daiichi Accident. Technical Volume 4/5: Radiological Consequences. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2015. 245 p.
8. Медицинские радиологические последствия Чернобыля: прогноз и фактические данные спустя 30 лет /Под общей ред. чл.-корр. РАН В.К. Иванова, чл.-корр. РАН А.Д. Каприна. М.: ГЕОС, 2015. 450 с.
9. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 100 с.
10. Основополагающие принципы безопасности: основы безопасности. Серия норм МАГАТЭ по безопасности, № SF-1. Вена: МАГАТЭ, 2007. 24 с.
11. Оценка индивидуальных рисков для здоровья сотрудников Росатома в связи с внешним облучением //Радиация и риск. 2017. Т. 26, № 2. С. 7-25.

Risk-based approach to optimization of the radiological protection of group A personnel of the State Corporation Rosatom: formation of critical groups

Ivanov V.K.¹, Korelo A.M.¹, Chekin S.Yu.¹, Panfilov A.P.², Mikheenko S.G.², Usoltsev V.Yu.²

¹ A. Tsyb MRRC, Obninsk;

² ROSATOM State Atomic Energy Corporation, Moscow

The technology optimization of the radiological protection for group A personnel of the State Corporation Rosatom is developed on the basis of minimization radiation exposure of employees included in the high-risk groups. There are 4 high-risk groups (HRG): 1 HRG – cumulative dose (CD) >150 mSv, excess absolute risk (EAR) $\leq 10^{-3}$, attributable risk fraction (ARF) $\leq 10\%$; 2 HRG – CD >150 mSv, EAR $\leq 10^{-3}$, ARF >10%; 3 HRG – CD >150 mSv, EAR >10⁻³, ARF $\leq 10\%$; 4 HRG – CD >150 mSv, EAR >10⁻³, ARF >10%. It is established that 1 HRG contains 3.54% of all group A personnel, 2 HRG – 0.54%, 3 HRG – 0.44% and 4 HRG – 0.77%. The average values of the absolute risk and attributable risk fraction were for each risk group. So, in 4 HRG mean value of the absolute risk is equal to $1.83 \cdot 10^{-3}$, and the attributable risk fraction – 14.04%. These values significantly exceed the limit values according to the criteria IAEA for the classification of high-risk groups. The technology provides the normal conditions of operation by maintaining the current value of the collective effective dose of personnel. The technology is based on modern findings of UNSCEAR, the ICRP recommendations and the IAEA standards on radiation risk assessment and optimization of radiological protection in the category of occupational exposure.

Key words: optimization of radiological protection, criteria of radiation safety IAEA, formation of high-risk groups, group A personnel, State Corporation Rosatom, minimization of radiological (carcinogenic) effects, redistribution of the personnel radiation exposure, collective dose, excess absolute risk, attributable risk fraction.

References

1. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP, 2007, vol. 37, no. 2-4.
2. Ivanov V.K., Korelo A.M., Panfilov A.P., Raykov C.V. ARMIR: the system for optimization of radiological protection of the staff. Moscow, Pero Publ., 2014. 302 p. (In Russian).
3. Rosatom State Atomic Energy Corporation. Public annual report, 2015. (In Russian).
4. Malignant neoplasms in Russia in 2014 (morbidity and mortality). Eds.: A.D. Kaprin, V.V. Starinskiy, G.V. Petrova. Moscow, P. Hertsen MORI – branch of the NMRRRC of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, 2016. 250 p. (In Russian).
5. Occupational health. Guidance on assessing occupational risk to workers' health. Organizational and methodological foundations, principles and evaluation criteria. P2.2.1766-03. Moscow, Ministry of Health of the Russian Federation, 2003. (In Russian).
6. Approaches to attribution of detrimental health effects to occupational ionizing radiation exposure and their application in compensation programmes for cancer: a practical guide. Occupational Safety and Health Series, No. 73. Eds.: S. Niu, P. Deboodt, H. Zeeb. Geneva, International Labour Organization, 2010. 99 p.
7. The Fukushima Daiichi Accident. Technical Volume 4/5: Radiological Consequences. Vienna, International Atomic Energy Agency, 2015. 245 p.
8. Health effects of Chernobyl: prediction and actual data 30 years after the accident. Eds.: Corresponding Member of RAS V.K. Ivanov, Corresponding Member of RAS A.D. Kaprin. Moscow, GEOS, 2015. 450 p. (In Russian).
9. 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).
10. Fundamental Safety Principles. Safety Fundamentals. IAEA Safety Standards Series N SF-1, Vienna, IAEA, 2007. 24 p. (In Russian).
11. 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).

Ivanov V.K.* – Deputy Director, Chairman of RSCR, Corresponding Member of RAS; Korelo A.M. – Senior Researcher; Chekin S.Yu. – Head of Lab. A. Tsyb MRRC. Panfilov A.P. – Advisor General Service, C.Sc., Tech.; Mikheenko S.G. – Head of Dep., C. Sc., Phys.-Math.; Usoltsev V.Yu. – Chief Specialist of Dep. State Corporation Rosatom.

*Contacts: 4 Korolev str., Obninsk, Kaluga region, Russia, 249036. Tel. (484) 399-33-90; e-mail: nrer@obninsk.com.