

УДК 621.039

© 2019

ВЫПОЛНЕНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ЗАЩИТНОЙ КАМЕРЫ ОТДЕЛЕНИЯ РАЗДЕЛКИ ПРИСТРОЯ ХОЯТ СМОЛЕНСКОЙ АЭС С ПРИМЕНЕНИЕМ ЗАКРЫТЫХ РАДИОНУКЛИДНЫХ ИСТОЧНИКОВ

*А.В. Лачугин, М.В. Кочерыгин, А.З. Гаязов, С.В. Комаров
Россия, г. Димитровград, ООО Научно-производственная фирма "Сосны"*

Описаны результаты работ по выполнению радиационных испытаний защитной камеры отделения разделки Пристроя ХОЯТ Смоленской АЭС. Испытания выполнены с применением кобальтовых закрытых радионуклидных источников ГИК 7-4 с суммарной активностью 1883 Ки. Сформулированы критерии выбора типа и активности источника излучения для испытаний. Приведено описание технологической оснастки, разработанной для обращения с источниками при испытаниях. Описаны основные принципы и последовательность выполнения данных работ, проведен анализ полученных результатов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА, ЗАЩИТНАЯ КАМЕРА, РАДИАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ, ЗАКРЫТЫЙ РАДИОНУКЛИДНЫЙ ИСТОЧНИК ГИК 7-4, ПРИСТРОЙ ХОЯТ, СМОЛЕНСКАЯ АЭС

ВВЕДЕНИЕ

Радиационная обстановка в помещениях объектов использования атомной энергии, расположенных в непосредственной близости от источников излучения, в основном определяется проникающими γ - и нейтронным излучениями. Для снижения интенсивности излучения на рабочих местах персонала до нормативных значений [1, 2] на пути распространения ионизирующего излучения создаются физические барьеры (строительные конструкции, шиберы, перекрытия, проходки и т.п.). Одним из условий ввода в эксплуатацию радиационно-опасных объектов является экспериментальное подтверждение проектной эффективности данных барьеров.

В рамках подготовки к вводу в эксплуатацию систем и элементов Пристроя ХОЯТ Смоленской АЭС была предусмотрена практическая проверка эффективности биологической защиты защитной камеры отделения разделки ОТВС (далее – ЗК), представляющей собой герметичное помещение, предназначенное для размещения основного технологического обо-

рудования для приема ОТВС, их разделки и загрузки в чехол УКХ-109.

Целью настоящей публикации являются описание принятого подхода для выполнения радиационных испытаний ЗК Пристроя ХОЯТ Смоленской АЭС, обобщение и анализ полученных практических результатов.

Целью радиационных испытаний являлась проверка сплошности биологической защиты ЗК (стены, перекрытия, шиберы, проходки) и оценка соответствия ее фактической эффективности проектным параметрам по завершению строительно-монтажных работ.

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАБОТ

В процессе выполнения комплекса работ в строгом соответствии с требованиями технического задания и в кратчайшие сроки были решены следующие задачи:

- выбор и обоснование применения источника ионизирующего излучения (ИИИ);
- разработка, изготовление и доставка технологической оснастки для радиационных испытаний ЗК;

- разработка и согласование отчёта по обоснованию безопасности при обращении с закрытыми радионуклидными источниками (ЗРИ) ГИК 7-4 на территории Смоленской АЭС;
- сопровождение получения санитарно-эпидемиологического заключения на обращение с ЗРИ ГИК 7-4 на территории Смоленской АЭС;
- обеспечение тренировочного цикла работ с применением оснастки и упаковочного комплекта УКТ1В-250-12;
- организация доставки ЗРИ ГИК 7-4 на Смоленскую АЭС;
- проведение радиационных испытаний ЗК.

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ИСТОЧНИКА ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Выбор источника осуществлялся из следующих соображений:

- активность источника для проведения испытаний должна быть достаточной для того, чтобы мощность эквивалентной дозы (МЭД) на внешней поверхности защиты контролируемых помещений регистрировалась применяемыми дозиметрическими приборами с приемлемой погрешностью. Для использовавшегося дозиметра МКС КП-АД6 с нижним пределом диапазона измерений 0,1 мкЗв/ч данное условие выполнялось при создании с помощью ЗРИ на внешней поверхности защиты МЭД не менее 1 мкЗв/ч;

– дозы возможного облучения персонала (участников работ) должны быть минимизированы. Указанное условие достигалось ограничением активности источника, обеспечивающей не превышение МЭД на рабочих местах операторов (на расстоянии 1 м от поверхности защиты) значения 12 мкЗв/ч, регламентированного для помещений временного пребывания персонала [1, 2].

С целью определения минимальных и максимальных значений активности источников γ -излучения для проведения радиационных испытаний выполнена серия расчетов МЭД γ -излучения на расстояниях 0,1 и 1 м от внешней поверхности биологической защиты.

Для минимизации активности источника

из существующей номенклатуры источников γ -излучения [3] при выборе исключались источники на основе радионуклидов с энергией излучения ниже 0,5 МэВ. Кроме того, более 85 % γ -квантов спектра излучения ОТВС¹, которые обуславливают дозиметрическую обстановку при производстве работ в Пристрое ХОЯТ, находится выше указанного значения. Таким образом, для моделирования использовались источники γ -излучения на основе радионуклидов ⁶⁰Со и ¹³⁷Cs.

С целью определения влияния геометрических размеров модели источника излучения на рассчитанные значения мощностей доз γ -излучения в точках детектирования были использованы точечная, линейная и объёмная модели источников излучения. Наибольшая сходимости результатов расчета с измерениями, полученными в рамках работы [5], наблюдалась на модели объёмного источника. Расстояния от источника излучения до внутренней поверхности биологической защиты принимались фактическими при проведении измерений. Активность источника излучения принималась равной 1 Ки. Данный подход позволил определить значения переходных коэффициентов "активность – мощность дозы" для различных расстояний от внешней поверхности биологической защиты и сформулировать следующие критерии выбора активности источника:

$$D_i^j(0,1) = A_i \cdot K_i^j(0,1) \geq 1 \quad (1)$$

$$D_i^j(1) = A_i \cdot K_i^j(1) \leq 1,2 \quad (2)$$

где $D_i^j(0,1)$, $D_i^j(1)$ – МЭД, обусловленная i -м источником излучения в j -й точке детектирования на расстоянии 0,1 и 1 м от внешней поверхности биологической защиты, соответственно, мкЗв/ч;

A_i – активность радионуклида в i -м источнике, Ки;

¹ В качестве спектра излучения ОТВС принимается энергетическое распределение гамма-излучения, обусловленного ОТВС РБМК-1000 с глубиной выгорания 29,28 ГВт сут /тU и временем выдержки 1 год.

$K_i^j(0,1), K_i^j(1)$ – коэффициент перехода "активность – мощность дозы" для i -го источника излучения в j -й точке детектирования на расстоянии 0,1 и 1 м от внешней поверхности биологической защиты, соответственно, (мкЗв/ч)·Ки⁻¹.

Расчёты коэффициентов перехода "активность – МЭД" выполнялись с помощью программы MicroShield 8.02 [4]. Используемая программа реализует общепризнанные методы инженерных расчёта мощностей доз γ -излучения с применением аналитических формул и известных коэффициентов перевода плотности потока. Корректность расчётов используемой программы была подтверждена по результатам сравнения расчётных и измеренных значений мощностей доз γ -излучения в рамках реализации практических работ [5].

По результатам расчётов было установлено, что для выполнения критериев (1), (2) при проведении испытаний требуются источники на основе выбранных нуклидов со следующей минимальной активностью:

- ⁶⁰Co – 1196,2 Ки;
- ¹³⁷Cs – 952,4·10³ Ки.

С учётом требуемой значительной активности (и, соответственно, количества) источников на основе ¹³⁷Cs, а также положительного опыта применения кобальтовых источников при выполнении аналогичных работ на Курской АЭС [5], было решено использовать закрытые радионуклидные источники ГИК 7-4 с радионуклидом ⁶⁰Co.

На основе анализа конструкции защитной камеры Прибора ХОЯТ, планируемых перемещений источников в защитной камере, а также полученных значений МЭД был выбран оптимальный вариант размещения источников в камере.

Пример схемы размещения точек детектирования относительно источника излучения и биологической защиты при вычислении коэффициентов перехода "активность – МЭД" для исследуемых строительных конструкций представлен на рис. 1. Аналогичные схемы были разработаны для всей поверхности биологической защиты.

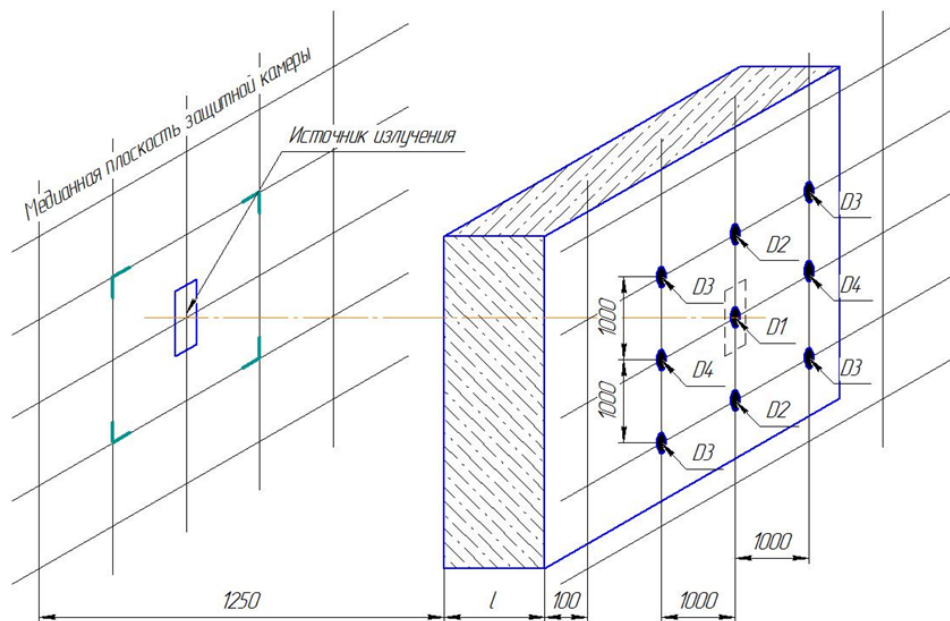


Рис. 1. Пример схемы размещения источника излучения, биологической защиты и точек детектирования при проведении расчета для исследуемых строительных конструкций, размеры в мм

Таблица 1

Результаты расчётов в обоснование необходимого и достаточного количества источников ГИК 7-4 (модель объёмного источника)

Количество источников	Обозначение точки детектирования (см. рис. 1)	Мощность дозы γ -излучения, мкЗв/ч	
		на расстоянии 0,1 м от внешней поверхности биологической защиты	на расстоянии 1 м от внешней поверхности биологической защиты
1	D1	7,68	4,09
	D2	2,34	2,14
	D3	0,71	1,09
	D4	2,34	2,14
2	D1	15,23	8,16
	D2	5,15	4,51
	D3	1,55	2,29
	D4	5,15	4,51
3	D1	22,52	12,14
	D2	8,49	7,12
	D3	2,53	3,62
	D4	8,49	7,12
4	D1	29,42	16,01
	D2	12,41	9,97
	D3	3,68	5,05
	D4	12,41	9,97

Активность и количество источников ГИК 7-4 были обоснованы сериями расчётов МЭД γ -излучения на расстояниях 0,1 и 1 м от внешней поверхности биологической защиты с учётом реальной геометрии источника ГИК 7-4 и защитной камеры. В проведенных расчетах принимались проектные значения параметров биологической защиты: стены ЗК толщиной от 1000 до 1100 мм выполнены из тяжёлого бетона плотностью 2400–2500 кг/м³ (в некоторых местах – до 5200 кг/м³).

Результаты расчётов приведены в табл. 1. Картограмма распределения МЭД в случае применения двух источников представлена на рис. 2 и 3.

Таким образом, для выполнения радиационных испытаний были использованы закрытые радионуклидные источники ГИК 7-4 с радионуклидом ⁶⁰Со в количестве двух штук с суммарной активностью на момент проведения практических работ 1883 Ки. ЗРИ были достав-

лены на Смоленскую АЭС из ФГУП "ГХК" в упаковочном комплекте транспортном (УКТ) УКТІВ-250-12, обеспечивающем биологическую защиту.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАТКА

Для безопасного выполнения транспортно-технологических операций с ЗРИ в процессе проведения испытаний специалистами ООО НПФ "Сосны" был разработан, изготовлен и поставлен комплект технологической оснастки. Состав и назначение основных изделий из состава оснастки приведены в табл. 2. Внешний вид оснастки представлен на рис. 4.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ВЫПОЛНЯЕМЫХ РАБОТ

По результатам дозиметрического контроля, отраженным в нарядах-допусках, инди-

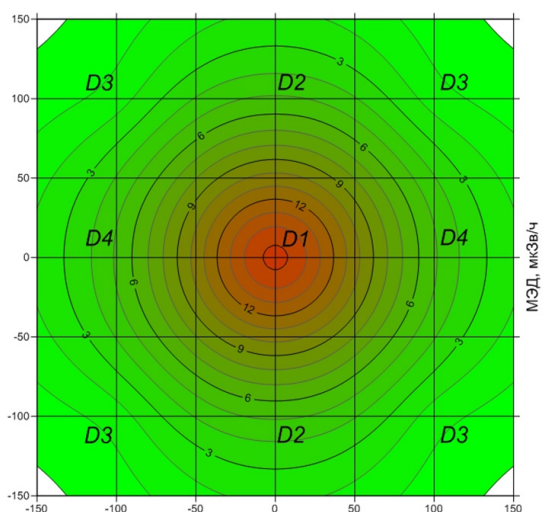


Рис. 2. Распределение мощностей доз γ -излучения на расстоянии 0,1 м от внешней поверхности биологической защиты при проведении обследования с помощью двух источников ГИК 7-4

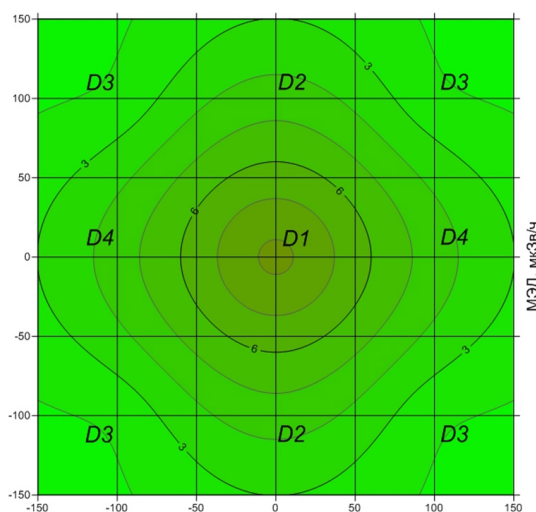
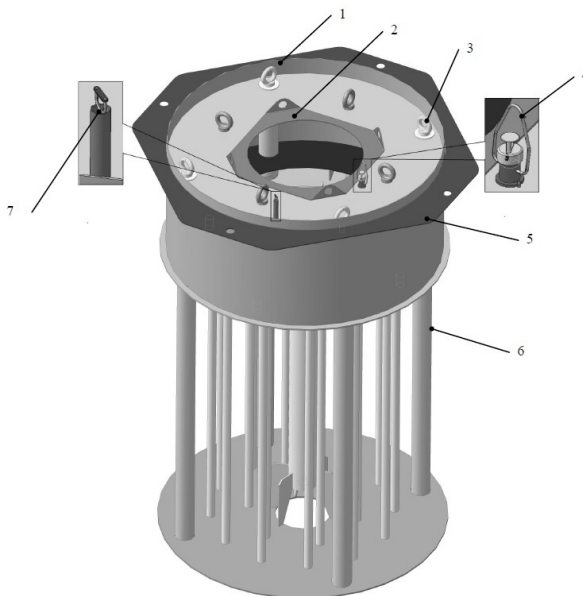


Рис. 3. Распределение мощностей доз γ -излучения на расстоянии 1 м от внешней поверхности биологической защиты при проведении обследования с помощью двух источников ГИК 7-4

Таблица 2

Состав и назначение оснастки

Наименование	Назначение
Подставка	Установка защитного контейнера с ЗРИ в ЗК. Исключение возможности попадания источника (при его потенциальном падении) в труднодоступные места
Обечайка защитная	
Захват цанговый	Выполнение операций по извлечению ЗРИ из защитного контейнера и загрузке в пенал
Пенал	Размещение ЗРИ при проведении радиационных испытаний ЗК
Кольцо съемное защитное	Компенсация зазора между обечайкой защитной и защитным контейнером
Кольцо охранное	Компенсация зазора между полом ЗК и корпусом обечайки защитной



1 – обечайка защитная; 2 – кольцо съемное защитное; 3 – направляющая (4 шт.); 4 – пенал; 5 – кольцо охранное; 6 – подставка; 7 – цанговый захват

Рис. 4. Оснастка в сборе (защитный контейнер КТІВ-250-12 не показан)

видуальные эквивалентные дозы персонала в Пристрое ХОЯТ не превысили 3 мкЗв в течение всего периода испытаний. Работы выполнялись в строгом соответствии со специально полученным на данный вид работ санитарно-эпидемиологическим заключением.

МЕТОДОЛОГИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ

Принцип проверки биологической защиты заключался в сравнении расчётных и измеренных значений мощности эквивалентной дозы, обусловленной γ -излучением ЗРИ, на внешней поверхности биологической защиты.

В процессе радиационных испытаний ЗРИ с помощью кантового захвата дистанционно извлекали из УКТ и загружали в пенал (рис. 5), после чего пенал с ЗРИ перемещали во внутрен-



Рис. 5. Загрузка ЗРИ в пенал

нем пространстве ЗК. При этом в помещениях, смежных с ЗК, проводили измерения МЭД γ -излучения. Координаты (x,y,z) положений, в которых размещался пенал с ЗРИ, были заданы программно на консольном манипуляторе в процессе проведения тренировочных испытаний.

Измерения МЭД осуществлялись тремя группами дозиметристов, работающими параллельно, с использованием аттестованных измерительных переносных комплектов МКС КП-АД6.

Измерения МЭД выполняли в узловых точках и в центрах квадратов координатной разметки шагом 1×1 м, нанесенной на стены смежных с ЗК помещений и соответствующей фактическому положению пенала с ЗРИ в ЗК (рис. 6). На этапе тренировочных испытаний была выполнена координатная привязка между начальной точкой перемещения пенала с ЗРИ в ЗК и разметкой в смежных помещениях.

Таким образом, для любого положения пенала с ЗРИ, перемещаемого внутри ЗК, были известны расстояния до точек на внешней по-

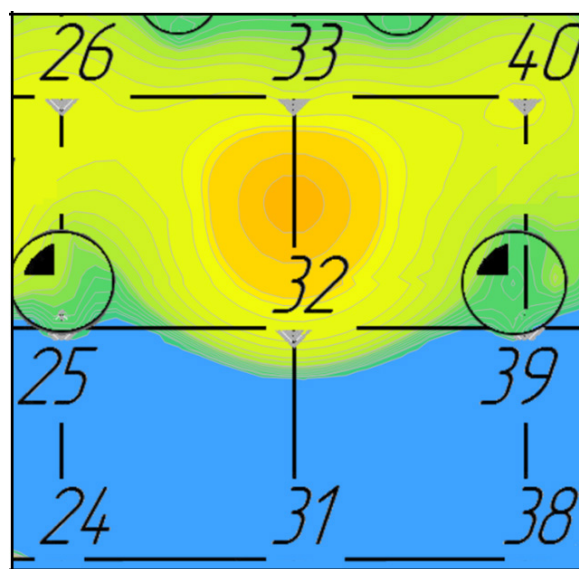


Рис. 6. Картограмма распределения МЭД на стене помещения (источник напротив точки 32)

верхности биологической защиты в местах измерений МЭД (рис. 1) в соответствии с выполненной разметкой.

Если в заданной точке фактические значения МЭД (с учётом максимально допустимой погрешности прибора) превышали расчетные, то данный участок (площадью 1 м²) защиты принимался дефектным и подвергался более детальному обследованию с определением границ дефекта.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ

Радиационные испытания выполнялись в течение нескольких смен под техническим руководством ООО НПФ "Сосны". На период испытаний иные работы в здании Пристроя ХОЯТ были приостановлены. В процессе испытаний было обследовано 35 помещений Пристроя ХОЯТ.

Транспортно-технологические операции с ЗРИ в ЗК осуществлялись операторами Смоленской АЭС дистанционно из операторских помещений. Для перемещения ЗРИ использовались копирующие и консольные манипуляторы, а также изделия из комплекта оснастки, разработанного ООО НПФ "Сосны".

Радиационные испытания включали в себя несколько основных этапов:

- испытания стен и перекрытий выше уровня столешницы ЗК (отм. +12,050);
- испытания стен и перекрытий ниже отм. +12,050;
- испытания проходок.

В ходе радиационных испытаний осуществлялось перемещение пенала с ЗРИ консольным манипулятором во внутреннем пространстве ЗК согласно заданной схеме.

При испытаниях ниже отм. +12,050 пенал с ЗРИ с помощью консольного манипулятора опускали на цепном стропе в технологические каналы под столешницей ЗК.

Контроль проходок выполнялся индивидуально наведением пенала с ЗРИ на ось проходки.

При каждом положении пенала с ЗРИ проводились измерения МЭД γ -излучения в смежных с ЗК помещениях с занесением результатов в бланки измерений.

АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Принятый подход выполнения радиационных испытаний показал свою практическую актуальность с получением характерных значений для различных плотностей и толщин биозащиты по соотношению проектных данных и фактически полученных значений. Анализ полученных результатов показывает, что эффективность биологической защиты ЗК в целом соответствует проектным параметрам и обеспечивает требуемую кратность ослабления ионизирующего излучения за исключением некоторых локальных участков.

В качестве примера рассмотрим выявленный локальный дефект биологической защиты. Картограмма МЭД в области обнаружения дефекта представлена на рис. 6. Основные результаты измерений приведены в табл. 3. Для формирования наглядной картины дефекта в каждом случае проводился ряд детализирующих измерений.

При выполнении измерений МЭД по координатной сетке было установлено превышение расчетных значений в точках: 32, 33, 26, 40. В результате этого была детально обследована площадь, образованная квадратом 24-26-40-38. Данный подход позволил установить границы выявленного дефекта, представленные на рис. 6.

По результатам испытаний сформировано заключение о соответствии фактической и проектной эффективности биологической защиты. Сводные практические рекомендации по устранению обнаруженного дефекта (табл. 4) включали в себя координаты зон локализации дефекта, значения минимально необходимых дополнительных кратностей ослабления и соответствующих им толщин различных материалов (свинец, сталь) [6] с целью последующего приведения биологической защиты к проектным значениям.

Аналогичным образом был проведен анализ и всех прочих выявленных дефектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам радиационных испытаний ЗК сформированы сведения, достаточные для устранения выявленных локальных дефектов.

Таблица 3

Анализ результатов измерений МЭД в зоне обнаружения дефекта

Номер точки (рис. 6)	МЭД измеренная, мкЗв/ч	МЭД расчётная, мкЗв/ч	Требуемая кратность ослабления	Необходимая толщина защиты, мм	
				Свинец	Сталь
32	29,00	15,23	1,90	15	30
31	4,95	5,15	0,96	не требуется	не требуется
38	1,45	1,55	0,93	не требуется	не требуется
39	5,05	5,15	0,98	не требуется	не требуется
40	5,50	1,55	3,54	30	55
33	14,20	5,15	2,75	25	50
26	8,20	1,55	5,29	35	70
25	4,60	5,15	0,89	не требуется	не требуется
24	1,50	1,55	0,97	не требуется	не требуется
между 32 и 33	38,00	9,79	3,88	30	60

Таблица 4

Образец выдачи рекомендаций по устранению выявленных дефектов

№ п/п	Номер помещения	Координаты дефекта	Площадь дефекта, м ²	Минимально необхо- димая дополнительная кратность ослабления	Минимально необходимая толщина дополнительной биологической защиты, мм	
					свинец	сталь
1	000	Квадрат (точки 1-2-3-4)	1,00	1,90	15	30

Выполнение радиационных испытаний в кратчайшие сроки способствовало своевременной подготовке Пристро́я ХОЯТ Смоленской АЭС к вводу в эксплуатацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ–99/2010). Санитарные правила и нормативы СП 2.6.1.2612–10 : утв. Мин-вом здравоохранения РФ 26.04.2010 : введ. 17.09.2010 – М.: Роспотребнадзор, 2010. – 40 с.
2. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций: СП АС-03. – Введ. 2003–06–20. – М., 2003. – 36 с.

3. Источники гамма-излучения. Каталог / АО "В/О Изотоп". – М., 2015. – 199 с.
4. Microshield 8.02 : User`s manual / Grove Software Inc. – 2008 – 217 p.
5. Орлов М.С., Деткина А.В., Нехожин М.А. и др. Результаты работ по проверке сплошности биологической защиты защитной камеры отделения разделки ОТВС Пристро́я ХОЯТ Курской АЭС // Тез. докл. на VIII Международном ядерном форуме "Безопасность ядерных технологий: культура безопасности на объектах использования атомной энергии", С.-Петербург, 9-13 сентября 2013 г. – С. ???
6. Машкович В.П., Кудрявцева А.В. Защита от ионизирующих излучений: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 496 с.