

ДЕНИСОВ А.Л.

*ООО НПФ «Сосны», г. Москва***РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И ПРОВЕДЕНИЕ РАСЧЕТОВ ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА В ОБОСНОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ПОДГОТОВКИ ОТВС РУ ЭГП-6 К ВЫВОЗУ НА ПЕРЕРАБОТКУ (ЗАХОРОНЕНИЮ)**

В докладе детально рассмотрен процесс подготовки исходных данных и построения расчетной модели для анализа достаточности биологической защиты оборудования и минимизации внешнего облучения персонала. В рамках данной работы была сформирована выборка источников излучения, а также построены их упрощенные модели для расчетов. Активность источников излучения была обусловлена как продуктами деления ОЯТ, так и продуктами активации конструкционных элементов и поверхностных отложений. В докладе продемонстрированы принципиальные схемы взаимного расположения некоторых элементов из разрабатываемого технологического оборудования, источников излучения и точек детектирования, размещенных в зоне нахождения персонала. Продемонстрированы результаты выполненных расчетов мощности эффективной дозы в точках расположения персонала, а также анализ полученных результатов и соответствующие выводы. Данный доклад представляет собой краткое описание большого объема расчетных работ, входящих в предварительный отчет по обоснованию безопасности вновь разрабатываемой технологии и оборудования, предполагаемых к применению на Билибинской АЭС при подготовке ОТВС РУ ЭГП-6 к дальнейшему обращению. В работе также отмечена уникальность разрабатываемой технологии и, как следствие, существенная важность подробного анализа оборудования с точки зрения радиационной безопасности.

Введение

В рамках работ по обоснованию безопасности вновь разрабатываемых технологий и оборудования, предполагаемых к применению на Билибинской АЭС при подготовке ОТВС РУ ЭГП-6 к дальнейшему обращению [1] были проведены расчеты мощности эффективной дозы внешнего облучения персонала при обращении с разрабатываемым оборудованием. Результаты данных расчетов применялись при конструировании биологической защиты оборудования, а в дальнейшем – при выполнении расчетов дозовых нагрузок на персонал.

Проведенные работы выполнялись в несколько этапов. На первом этапе было проведено определение характеристик (номенклатуры) источников ионизирующего излучения. Были проанализированы чертежи ОТВС, материальный состав ОТВС, топлива, активность младших актиноидов и продуктов деления в топливе, наведенная активность конструкционных материалов (стали, графита). Далее были рассмотрены эскизы проектируемого оборудования для обращения с ОТВС РУ ЭГП-6, материалы, из которых оно будет выполнено, предполагаемое расположение источников излучения в оборудовании и характер работ, выполняемых персоналом с применением данного оборудования. Исходя из предполагаемой технологии обращения с ОЯТ, были определены случаи, в которых персонал мо-

жет быть максимально подвержен воздействию ионизирующего излучения. В каждом случае расчет производился с определенными допущениями, не влияющими на получаемый результат, или влияющими на него консервативно. По результатам проведенных расчетов для каждой рассматриваемой модели в искомых точках была определена суммарная мощность эффективной дозы ионизирующего излучения.

Источники ионизирующего излучения

В качестве источника излучения рассматривалась одна или несколько отработавших сборок или их фрагменты. Часть оборудования рассчитана на обращение с полноразмерными ОТВС, а часть – на обращение с надтопливным конструкционным фрагментом, относящимся к ТРО.

На рис. 1 показан эскиз ТВС РУ ЭГП-6. По конструкции и применяемой топливной композиции ТВС делятся на четыре типа (ТК – уран-молибден, ТКТ – уран-молибденовая с термопарой, ТКД – диоксид урана, ТКТД – диоксид урана с термопарой), к тому же каждый тип сборки имеет несколько вариантов обогащения топлива (3 и 3,3% для ТК; 3 и 3,6% для ТКД). ОТВС имеют различное выгорание топлива и время выдержки.

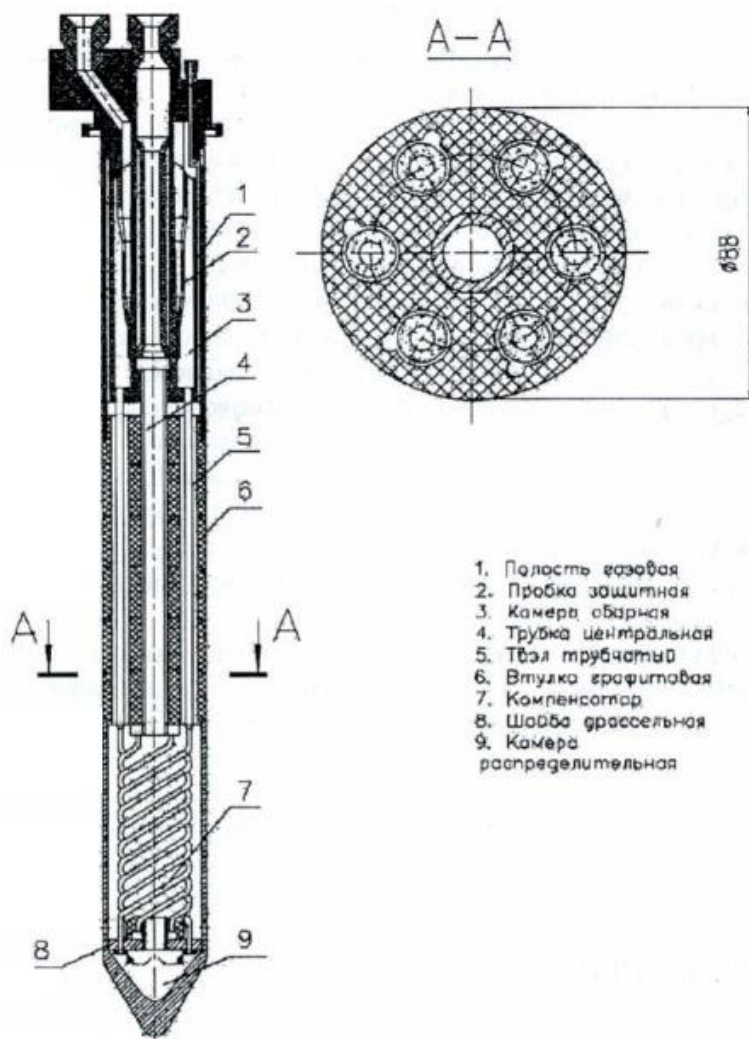


Рисунок 1. Эскиз ОТВС ЭГП-6

Применяя консервативные допущения, специалисты ООО НПФ «Сосны» отобрали ОТВС с максимальным выгоранием для каждого вида топлива. Далее было положено, что каждая из этихборок имеет минимальное время выдержки из всехборок данного вида топлива. Данный список из четырех условных ОТВС был дополнен пятой – с максимальным из находящихся в бассейне выдержки БВ-3 ОТВС выгоранием, с присвоением ей расчетного времени выдержки 7 лет. Время выдержки было выбрано как минимальное для ОТВС в БВ-3 на момент начала разделки топлива. (Расчет времени начала разделки топлива БВ-3 производился при помощи предварительных сетевых графиков обращения с ОТВС РУ ЭГП-6.)

Данные по пяти выбранным ОТВС были переданы в ООО «Пролог» для расчета активности продуктов деления и младших актиноидов в топливе, наведенной активности конструкционных элементов, активности поверхностных отложений и пр. По результатам отчета [2] было установлено, что максимальной активностью основных дозообразующих изотопов обладает ОТВС со временем выдержки 7 лет (пятая ОТВС). Характеристики именно этой ОТВС (далее по тексту – реперная ОТВС) используются для задания источника излучения.

На основе анализа активности продуктов деления и младших актиноидов в пяти ОТВС был также сделан вывод об отсутствии значимого вклада нейтронного излучения (выход нейтронов $4,1-6,5 \cdot 10^5$ нейтр./с) в суммарную мощность эффективной дозы по сравнению с вкладом гамма-излучения. На том же основании было определено, что нуклидами, обуславливающими основной вклад в мощность эффективной дозы за биологической защитой от топливной части сборки будут являться ^{137}Cs и ^{154}Eu , имеющие активность $3,78 \cdot 10^{13}$ и $4,49 \cdot 10^{11}$ Бк соответственно (для реперной ОТВС). Также была определена полная наведенная активность ^{60}Co в конструкционных элементах ($5,25 \cdot 10^{12}$ Бк), причем 99,8% активности сосредоточено на участке от 60 см выше топливной части до 62,2 см ниже топливной части. Ввиду подобного распределения, в расчетах биологической защиты от фрагментов ОТВС, включающих топливную часть, консервативно полагается, что суммарная наведенная активность ^{60}Co , равная $5,25 \cdot 10^{12}$ Бк, локализована в металлоконструкциях вышеописанного участка, а активностью кобальта в прочих элементах можно пренебречь.

В процессе анализа распределения активности поверхностных отложений продуктов коррозии в ОТВС [2] было также установлено, что полная активность поверхностных отложений (по ^{60}Co , как единственному изотопу из присутствующих, интересующему с точки зрения внешнего облучения) для реперной ОТВС составляет $1,14 \cdot 10^{10}$ Бк. При этом активность поверхностных отложений более чем на 90% сосредоточена в контуре теплоносителя на уровне топливной части. Учитывая, что наведенная активность отложений составляет не более 0,2% от полной активности, ею было решено пренебречь.

В случае присутствия в спектре линии кобальта излучение европия не учитывалось как пренебрежимо малое, так как полная активность ^{154}Eu на порядок меньше активности ^{60}Co , а выход фотонов почти в 6 раз меньше. Из-за отсутствия данных о распределении активности цезия по высоте топливного столба, а также кобальта по высоте металлоконструкций в активной зоне, расчеты выполнены в предположении их равномерности.

В случае, если фрагменты топливной части ОТВС не являются основными источниками излучения, пренебречь наведенной активностью в металлоконструкциях фрагментов не удастся, поэтому в расчетах биологической защиты оборудования для обращения с ТРО используется, как правило, суммарная наведенная активность выделенного фрагмента.

Разрабатываемое технологическое оборудование

Для обращения с ОТВС ЭГП-6 было спроектировано оборудование, оснащенное биологической защитой для предотвращения превышения доз персонала. Ниже будет представлено наиболее сложное или критичное оборудование с точки зрения расчетов МЭД.

Шарнир верхней защитной плиты бассейна выдержки.

Шарнир (рис. 2) является элементом оборудования для дистанционного обращения с ОТВС, находящихся в бассейнах выдержки Билибинской АЭС. Основной функцией шарнира является обеспечение биологической защиты персонала, работающего над открытым отверстием верхней защитной плиты (ВЗП) бассейна выдержки с сохранением при этом функциональных возможностей помещаемого в шарнир оборудования. Максимальный диаметр отверстия шарнира составляет 62 мм. Часть внутренней втулки шарнира, находящаяся над ВЗП, оборудована свинцовой пластиной в форме диска большего радиуса, обеспечивающей дополнительную защиту от ионизирующего излучения. Для консерватизма расчетов считалось, что оборудование в отверстии шарнира отсутствует.

В качестве источника излучения была определен массив ОТВС (каждая имеет характеристики реперной ОТВС), находящийся в штатном положении в бассейне выдержки с шагом, соответствующим реальному расположению сборок в бассейне. В расчете МЭД вблизи шарнира учитывались самопоглощение гамма-квантов в источнике, а также поглощение в верхних графитовых и металлических конструктивных элементах ОТВС. В такой геометрии рассчитывалась МЭД от отверстия на высоте 10 см от шарнира и 1 м от ВЗП.

Значения МЭД в точках D1-D10 (рис. 2) позволяют определить достаточность биологической защиты шарнира, предотвращающей неоправданное облучение персонала, работающего вручную с длинномерным инструментом. Мощность дозы в точке D7 косвенно ограничивается пределом эквивалентной дозы для кистей рук, когда в точке D10 ориентиром для проектирования защиты является ограничение эффективной дозы.

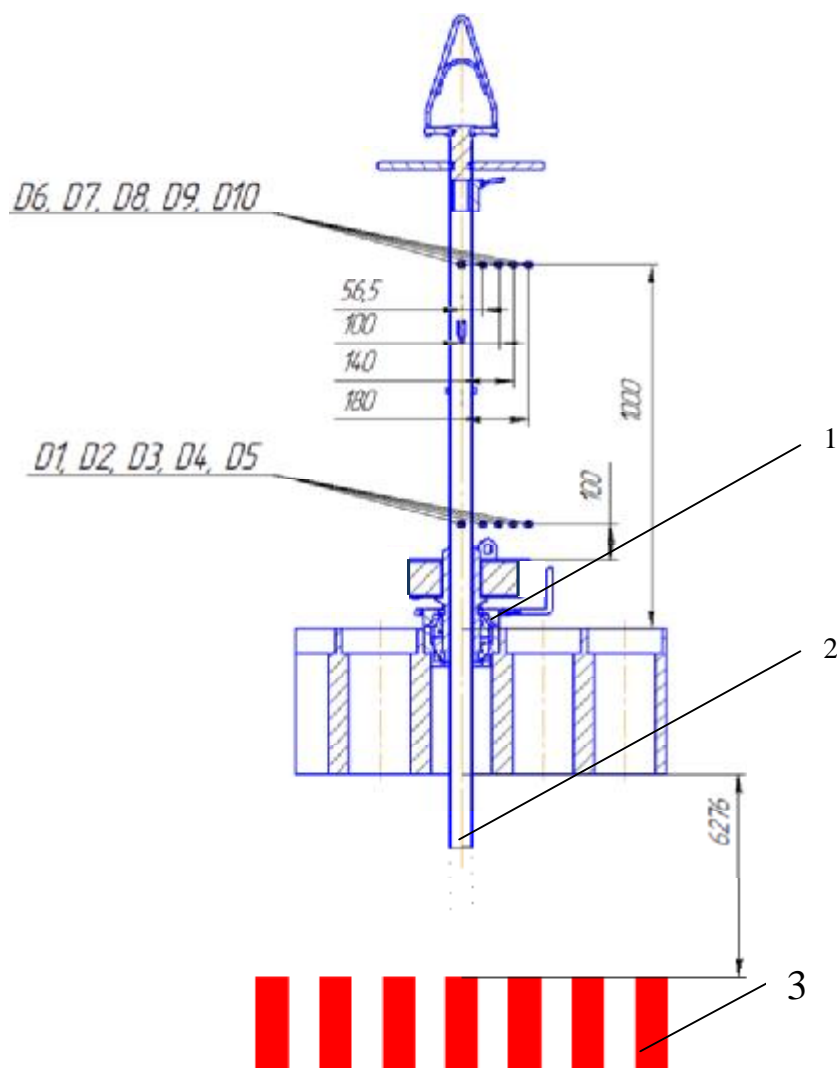


Рисунок 2. Схема размещения источников излучения и точек детектирования при выполнении расчётов эффективности защитных барьеров шарнира ВЗП:
1 – шарнир ВЗП; 2 – штанга длинномерного инструмента; 3 – источники излучения

Защитный козырёк верхней защитной плиты (рис. 3) является элементом оборудования участка выгрузки. Назначением козырька является обеспечение биологической защиты персонала от излучения, исходящего от щели в ВЗП. По технологии предполагается, что в ходе работы по выгрузке ОТВС из бассейнов требуется наведение элементов плиты ВЗП с целью обеспечения соосности ячейки и выгружаемой ОТВС. Чтобы обеспечить подвижность защитной плиты, с проема между бассейном и центральным залом демонтируется защитный короб, что обеспечивает открытую щель максимальной шириной 410 мм. В 60 мм над образуемой щелью в защитной плите и располагается защитный козырек, имеющий толщину 290 мм, ширину 900 мм и длину, равную ширине бассейна выдержки. В качестве источника для исследования эффективности биологической защиты были выбраны ОТВС, находящиеся в штатном положении на дне БВ. МЭД в точке D0 будет характеризовать эффективность биологической защиты козырька.

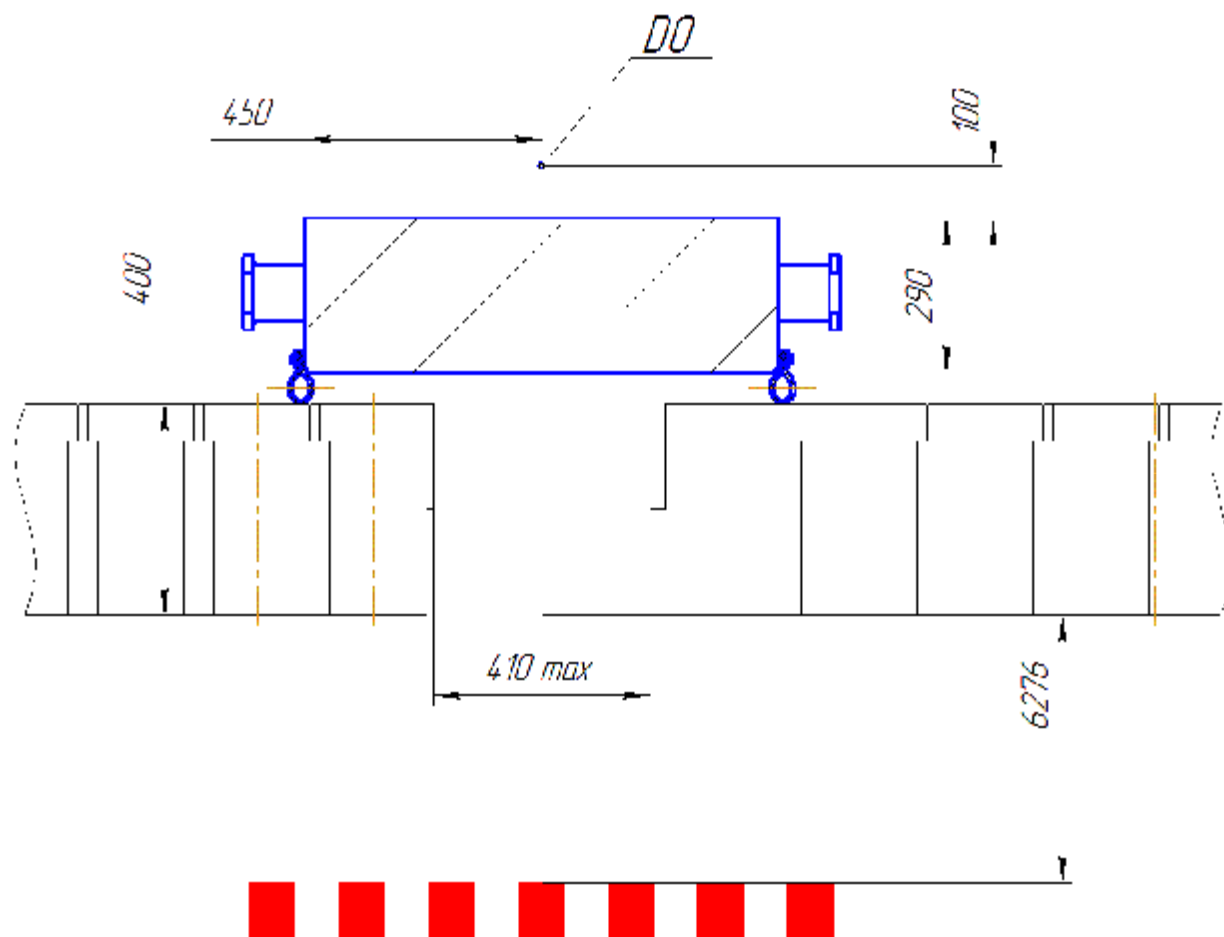


Рисунок 3. Схема размещения источников излучения и точек детектирования при выполнении расчётов эффективности защитных барьеров козырька защитного

МАРК ОЯТ. Основным технологическим элементом на участке пеналирования ОТВС является модуль автоматической разделки и капсулирования (МАРК) ОЯТ. Комплекс оборудования МАРК включает гелиевый щуп, режущее, сварочное и прочие устройства, а также элементы биологической защиты персонала. Система из четырёх шиберов устроена таким образом, что открытые шиберы формируют сплошное кольцо из стали. При закрытии шиберов отдельные элементы этого кольца смещаются в центр, перекрывая отверстие над отрезанным фрагментом ОТВС, однако одновременно с этим возможно образование зон прямого воздействия гамма-излучения. На предмет таких «прострелов» изучалась геометрия с закрытым нижним шибером и поднятой активной зоной фрагмента ОТВС, а также ситуация с полностью закрытым шибером и ОТВС в штатно установленном положении. Точка D1 на рис. 4 соответствует максимально приближенному к источнику излучения рабочему месту.

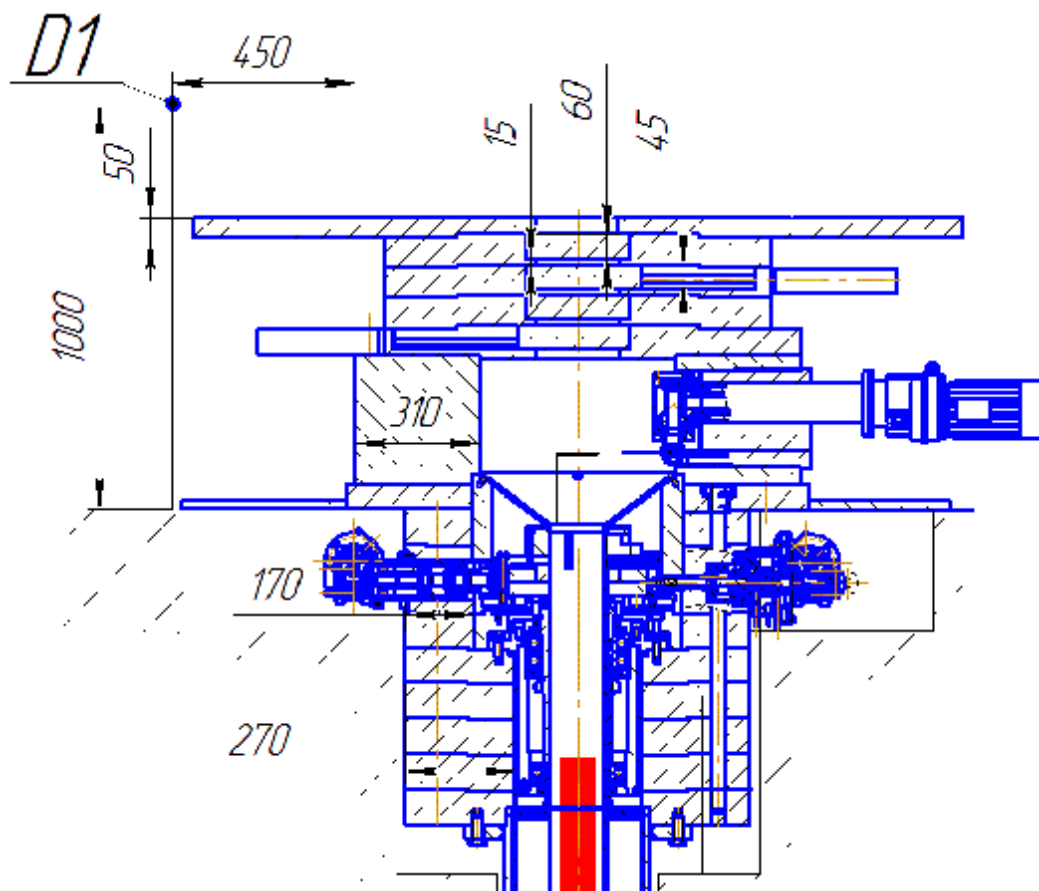


Рисунок 4. Схема размещения источников излучения и точек детектирования при выполнении расчетов эффективности защитных барьеров МАРК ОЯТ

Результаты расчета МЭД

В данном разделе приведены результаты расчета МЭД в исследуемых точках детектирования, вклад в мощность дозы излучения ^{60}Co и ^{137}Cs , а также основные выводы, касающиеся обеспечения радиационной безопасности на местах работы персонала.

В таблице представлены результаты расчетов мощности эффективной дозы в точках детектирования для шарнира ВЗП.

Таблица 1. Значения мощности эффективной дозы гамма-излучения в точках детектирования для шарнира ВЗП

Точка	МЭД, мкЗв/ч		
	^{137}Cs	^{60}Co	Сумма
D1	4630,00	4307,69	8937,69
D2	35,70	51,54	87,24
D3	14,10	11,92	26,02
D4	7,25	5,65	12,90
D5	4,46	3,32	7,78
D6	1870,00	1740,38	3610,38
D7	45,00	63,65	108,65
D8	12,30	9,38	21,68
D9	8,36	7,36	15,72
D10	6,02	5,69	11,71

Для защитного козырька верхней защитной плиты суммарная мощность эффективной дозы гамма-излучения в точке детектирования D0 составила 3 мкЗв/ч. Важно отметить, что основной вклад в МЭД (до 98,5%) принадлежит ^{60}Co , оставшаяся доля обусловлена ^{137}Cs . Имея в виду консервативность расчета, а также вышеприведенные значения, можно сделать вывод о том, что защитный козырек обеспечивает мощность дозы от расположенных в бассейне ОТВС ниже допустимой.

Мощность дозы в точке D1 МАРК ОЯТ, по результатам расчетов, составила 2 мкЗв/ч, где $\frac{3}{4}$ значения обуславливаются наведенной активностью металлоконструкций. По результатам расчетов можно сделать вывод о достаточности биологической защиты при штатном расположении фрагмента ОТВС в оборудовании.

Заключение

В ходе выполнения данной работы были получены консервативные значения мощностей эффективной дозы излучения на предполагаемых рабочих местах персонала при реализации технологии по подготовке ОТВС РУ ЭГП-6 к дальнейшему обращению. В докладе рассмотрены лишь немногие из расчетных геометрий для понимания общей картины проводимых работ. Данные результаты успешно прошли экспертизу НТЦ ЯРБ в составе «Предварительного отчета по обоснованию безопасности (ПООБ) вновь разрабатываемых технологий и оборудования, предполагаемых к применению на Билибинской АЭС при подготовке ОТВС РУ ЭГП-6 к дальнейшему обращению». Так как технология является вариантом решения стратегически важной проблемы обращения с ОЯТ на Билибинской АЭС и является уникальной разработкой, расчет мощностей доз на рабочих местах от проектируемого оборудования является основополагающим для разработки и безопасной реализации данной технологии.

Библиографический список:

1. Обоснование безопасности вновь разрабатываемых технологий и оборудования, предлагаемых к применению на Билибинской АЭС при подготовке ОТВС РУ ЭГП-6 к дальнейшему обращению (захоронению или вывозу на переработку) : отчет (предварительный) № 0-364-07. / ООО НПФ «Сосны». – Москва, 2011.
2. Радионуклидный состав ОЯТ и ТРО в ОТВС ЭГП-6 (БВ-1 и БВ-2) и характеристики источников излучения, необходимые для оценок радиационной безопасности : Отчет. / ООО «Пролог». – Обнинск, 2011.