

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОРИДА ВОЛЬФРАМА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТЕЙНЕРОВ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ РАО

А.Ю. Бородай, А.А. Гришин, С.С. Гуралёв

ayb1@tpu.ru

Научный руководитель: Беденко С.В., кандидат физ.-мат. наук, доцент каф. ФЭУ, НИ ТПУ

Значительный вклад в общемировой объём энергетики вносит атомная энергия. Развитие атомной энергетики помогает человечеству решить вопрос обеспечения населения дешёвой и экологичной электроэнергией. Побочным продуктом работы атомных станций являются радиоактивные отходы (РАО). Увеличение объёмов атомной энергетики приводит к увеличению объёмов РАО, которые получают при переработке отработанного ядерного топлива. Кроме того, в мире наблюдается тенденция по ужесточению законодательства в области обращения с ядерными материалами и с РАО в частности. По этим причинам разработки в области модернизации контейнеров для транспортировки и хранения РАО являются важными для развития атомной энергетики.

Добавление внутреннего дополнительного защитного слоя является наиболее оптимальным решением для задачи модернизации контейнеров. Добавление защитного слоя изнутри незначительно меняет технологию создания, в то же время совершенно не требуются изменения технологии обращения и эксплуатации контейнеров для транспортировки и хранения РАО. Итоговое снижение объёма контейнера является единственным минусом данной концепции модернизации.

Борид вольфрама является перспективным материалом для улучшения контейнеров для РАО. Данный материал имеет высокую плотность: $15,73 \text{ г/см}^3$, так же высокую температуру плавления: свыше $2800 \text{ }^\circ\text{C}$. Вольфрам, как тяжёлый элемент, имеет высокие показатели останавливающей спо-собности для альфа-, бета- и гамма-излучения [1]. Бор является сильным поглотителем нейтронов, который используется в ядерной энергетике более полувека.

Расчёты эффективности добавления борид вольфрама проводились инженерными методами в одномерном приближении. Расчёты проведены относительно самой тонкой поверхности контейнера. В качестве основы использован специальный Контейнер $V = 0,16 \text{ м}^3$ ООО «Атомпромресурсы», данный типовой контейнер широко распространён. Внутренний слой контейнера выполнен из стали 5 мм, защитный слой из свинца 30 мм, внешний слой из стали 10 мм [2]. Для дальнейших расчётов предполагалось так же добавление внутреннего слоя борид вольфрама толщиной 20 мм.

Для оценки эффективности нового слова проведены расчёты ослабления потоков бета-, гамма-и нейтронного излучения для базового и модифицированного контейнеров. Другие виды излучения не учтены в силу их меньшей проникающей способности. Расчёты в данной работе проводились для узконаправленных моноэнергетических потоков частиц. Данный подход достаточно точен и не требует сложных расчётов.

Все потоки нормированы на 100 % от входящего потока. $\Phi_{\text{Баз}}$ – поток частиц после прохождения стенки контейнера без модификации, $\Phi_{\text{Мод}}$ – поток частиц после прохождения стенки модифицированного контейнера.

На таблице 1 предоставлены данные по прохождению бета-частиц через стенку контейнера.

Таблица 1. Расчёт защиты от бета-излучения

Е β , МэВ	0,5	0,6	0,8	1	1,3	1,5	2	3
$\Phi_{\text{Баз}}$	0,2	0,6	2,3	4,4	7,2	9,5	12,6	15,4
$\Phi_{\text{Мод}}$	2,0E-03	0,1	0,2	0,5	1,2	2,0	3,1	4,3
$\Phi_{\text{Баз}}/\Phi_{\text{Мод}}$	76,8	30,9	12,7	8,0	5,8	4,8	4,0	3,6

Как видно из полученных данных, усиление защиты снизило поток самых высокоэнергетических бета-частиц более чем в 3 раза. Для бета-частиц с энергией менее 1 МэВ добавление защиты снижает поток более чем десятикратно.

На таблице 2 предоставлены данные по прохождению гамма-частиц через стенку контейнера.

Усиление защиты снизило поток самых высокоэнергетических гамма-частиц более чем в 7 раз.

Для гамма-частиц с энергией менее 1 МэВ добавление защиты снижает поток более чем на 2 порядка.

Таблица 2. Расчёт защиты от гамма-излучения

Е, МэВ	0,50	1,00	1,25	1,50	2,00	10,00
Φ _{Баз}	0,14	4,36	7,18	9,49	12,58	12,69
Φ _{Мод}	1,5E-04	0,09	0,24	0,44	0,86	1,64
Φ _{Баз} /Φ _{Мод}	965,30	51,16	30,30	21,76	14,69	7,73

Расчёты ослабления потоков бета- и гамма-частиц проводились с помощью линейных коэффициентов ослабления потоков частиц при прохождении слоя вещества. Для расчётов ослабления потоков нейтронов были использованы более сложные методы расчётов. Усложнение расчётов связано со сложной структурой взаимодействия бора с нейтронами. Бор, являясь лёгким элементом, проявляет хорошие замедляющие свойства. В то же время бор является очень сильным поглотителем нейтронов, однако данное свойство значительно проявляется лишь для тепловых нейтронов. По этой причине в расчётах учтено одновременно и замедление нейтронов, и разница взаимодействия замедлившихся и не замедлившихся нейтронов.

На таблице 3 предоставлены данные по прохождению потока нейтронов через стенку контейнера.

Таблица 3. Расчёт защиты от нейтронного излучения

Е _л , МэВ	тепловые n	0,1–0,2 МэВ	0,2–0,4 МэВ	0,4–0,8 МэВ	0,8–1,4 МэВ	1,4–2,5 МэВ	6,5–10,5 МэВ
Φ _{Баз}	66,32	96,43	91,89	92,06	93,70	93,68	93,34
Φ _{Мод}	9,1E-78	67,11	62,75	64,69	65,90	66,49	68,03
Φ _{Баз} /Φ _{Мод}	7,3E+78	1,44	1,46	1,42	1,42	1,41	1,37

Дополнительный слой защиты значительно ослабил поток нейтронов. Нейтроны тепловой энергии полностью поглощаются в дополнительном слое защиты.

Полученные данные показывают, что добавление дополнительного защитного слоя внесло ве-сомый вклад в усиление защиты контейнера. Чем ниже энергия проникающих частиц, тем эффективнее показывает себя дополнительная защита. Расчёты проведены в широком спектре для получения максимально полной информативности. Исследование показало, что использование боридов вольфрама в качестве дополнительного защитного слоя в контейнерах для транспортировки и хранения РАО заметно снижает потоки радиоактивного излучения. Это повышает общую защищённость контейнера и позволяет хранить более высокоактивное РАО. Эффективность дополнительной защиты значительно зависит от энергии и типа излучения. С возрастанием энергии частиц эффективность дополнительной защиты значительно снижается.

Список литературы

1. Физическое материаловедение : учебник для вузов. В 6 т. Том 6. Часть 1. Конструкционные материалы ядерной техники / Б.А. Калинин, Ю.А. Годин, Ф.В. Тенишев, В.В. Новиков ; под общей ред. Б.А. Калина. – Москва : МИФИ, 2008. – С. 103–114.
2. Контейнеры для радиоактивных отходов от низкого до высокого уровней активности / А.С. Барин, А.С. Волков, С.М. Лашёнов, В.Т. Сорокин. – Москва : Логос, 2012. – С. 22–25.
3. Герасимов В.В. Материалы ядерной энергетики / В.В. Герасимов, В.С. Монахов. – Москва : Атом-издат, 1976. – 260 с.