

*Павленко В. И., д-р. техн. наук, проф.,
Ястребинский Р. Н., канд. физ.-мат. наук, проф.,
Володченко А. Н., канд. техн. наук, проф.,
Четвериков Н. А., канд. техн. наук, ст. преп.,
Карнаухов А. А., студент*

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

КОНТЕЙНЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ АЭС

yrndo@mail.ru

Разработан новый тип радиационно-защитного композиционного материала на основе тяжелого фибробетона, обладающего повышенными физико-механическими, конструкционными, радиационно-защитными свойствами. Материал использован в конструкции долговечного и безопасного контейнера для утилизации радиоактивных отходов (РАО) низкой и средней активности. Проведены опытно-промышленные испытания разработанного контейнера, выполнены пробные расчеты на ЭВМ и подтверждена адекватность разработанных физических моделей геометрии радиационной защиты контейнеров с консервированными в них твердыми радиоактивными отходами (ТРО). Консервация ТРО осуществлена путем цементирования механоактивированного железосодержащего компонента. Смоделировано и экспериментально исследовано влияние γ -излучения на структуру и свойства радиационно-защитных фибробетонных композитов.

Ключевые слова: *тяжелый фибробетон, контейнеры, радиоактивные отходы, утилизация, гамма-излучение, радиационная защита.*

При эксплуатации предприятий атомной энергетики, ликвидации радиационных аварий и проведения исследовательских работ образуются значительные объемы твердых радиоактивных отходов (ТРО) низкого и среднего уровней активности, которые необходимо безопасно утилизировать. С целью повышения уровня безопасности при последующем долговременном хранении или окончательном захоронении ТРО проводится их стабилизация путем включения в цементные или битумные матрицы. Однако, данный способ имеет много недостатков: малая химическая стойкость, низкое содержание отходов в конечном продукте, низкая механическая прочность и др. [1].

Для сбора, переработки и долговременной локализации радиоактивных отходов создана централизованная система, включающая территориальные спецкомбинаты и пункты захоронения (ПЗРО) [2]. Однако для реакторов типа РБМК АЭС учет поступающих на долговременное хранение отходов, оценка качества их подготовки и захоронения на большинстве ПЗРО России не отвечают современным научно-техническим требованиям. В процессе переработки, хранения и транспортировки радиоактивных отходов возможно дополнительное облучение обслуживающего персонала атомных станций. В связи с этим возникает необходимость разработки новых научно-технических подходов не просто к захоронению ТРО, а переводу их из класса повышенной радиоактивности к малоак-

тивным или даже нерадиоактивным объектам путем их консервирования в универсальные безопасные высокопрочные контейнеры.

Авторами предлагается использование безопасной контейнерной технологии утилизации ТРО АЭС с РБМК. Разработанный контейнер выполнен из усиленного фибробетона на цементном вяжущем марки М500. В качестве тяжелых заполнителей использованы высокожелезистые модифицированные гематитовые железорудные концентраты, высокопрочные скальные горные выработки железорудных карьеров бассейна КМА, специальные армирующие и пластифицирующие добавки заводского изготовителя.

Анализ отечественного и зарубежного опыта исследований показывает, что в качестве радиационно-защитных материалов используется защита, состоящая из тяжелого бетона (Россия), фибробетона марки «Сожефibr», «Синрок» (Франция), «Сюрепак» фирмы «Вестингаузе» (США). Известные материалы обладают низкой механической прочностью и радиационной стойкостью [3]. Предлагаемые материалы позволяют устранить их недостатки и значительно повысить качество и долговечность защитных экранов.

Проведены опытно-промышленные испытания разработанного контейнера, выполнены пробные расчеты на ЭВМ и подтверждена адекватность разработанных физических моделей геометрии радиационной защиты контейнеров с

консервированными в них ТРО. Консервация ТРО осуществлена путем цементирования механически активированного железосодержащего компонента [4].

| | |
|---|-------------|
| Плотность бетона, кг/м ³ | 3200...3800 |
| Предел прочности на сжатие, МПа | 60 - 80 |
| Предел прочности на изгиб, МПа | 12 - 15 |
| Марка бетона по водонепроницаемости | W8 |
| Марка бетона по морозостойкости | F 200 |
| Линейный коэффициент ослабления γ -излучения, см ⁻¹ : | |
| Cs ¹³⁷ (E=0,66 МэВ) | 0,24...0,26 |
| Co ⁶⁰ (E=1,2 МэВ) | 0,10...0,12 |

Проектирование радиационной защиты – комплексный многоступенчатый процесс, состоящий из взаимосвязанных этапов и включающий выбор материалов защиты, компоновку защиты, ее конструирование. При этом необходимо учитывать соотношение долговременной безопасности, экономики и эксплуатационные требования. Неотъемлемой составной частью всех этапов проектирования является анализ полей излучения в защите [5].

Смоделировано и экспериментально исследовано влияние γ -излучения на структуру и свойства радиационно-защитных фибробетонных композитов [6].

Сравнение радиационно-защитных свойств материалов возможно лишь при рассмотрении конкретной ситуации, в которой они используются. Нами рассмотрена задача использования

Разработанный универсальный защитный контейнер обладает следующими физико-механическими и радиационно-защитными характеристиками:

| |
|-------------|
| 3200...3800 |
| 60 - 80 |
| 12 - 15 |
| W8 |
| F 200 |

разработанного фибробетона для создания плоских защитных экранов. При решении данной задачи качество защитного композита определяется, прежде всего, его толщиной (или массой слоя), обеспечивая заданную кратность ослабления излучения.

Получены зависимости энергетических (поточковых) коэффициентов пропускания (рис.1,2,3,4) от энергии и толщины защитного экрана для различных материалов. Расчеты проводились для случая нормального падения однородного потока γ -излучения на плоский слой, что обеспечивает получение максимальных значений коэффициентов пропускания. Именно такими значениями оперируют в практической дозиметрии при оценке эффективности защитных экранов [5].

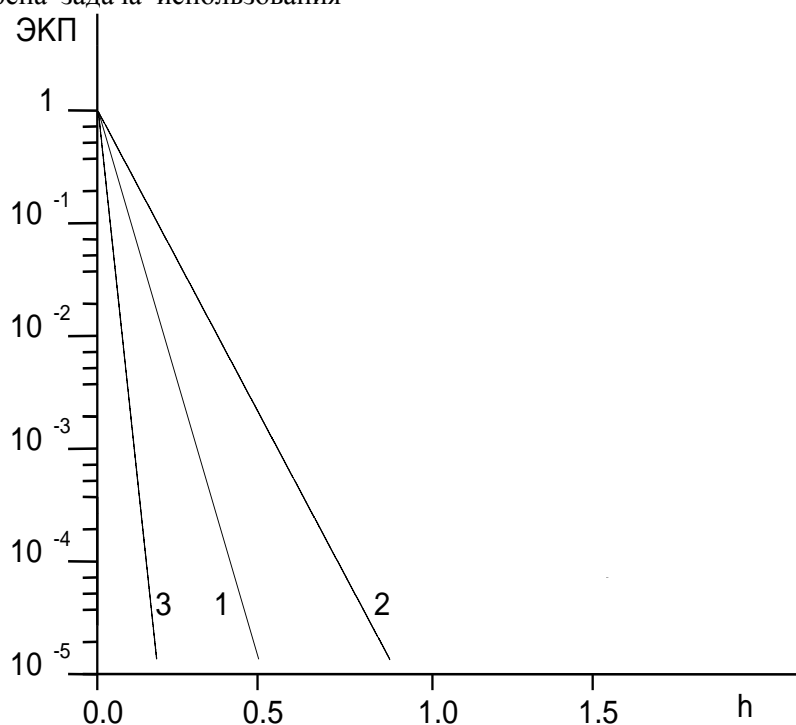


Рис.1. Энергетические коэффициенты пропускания для плоского мононаправленного источника с энергией 0,05 МэВ, нормально падающего на плоскую защиту толщиной h:
1 - фибробетон, 2 – сталь, 3 – свинец

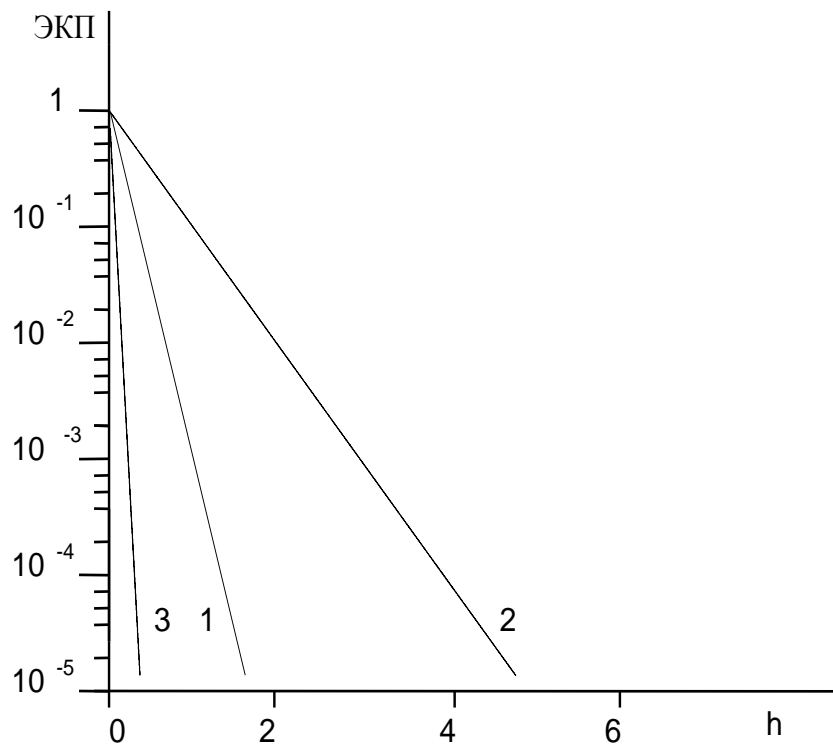


Рис.2. Энергетические коэффициенты пропускания для плоского мононаправленного источника с энергией 0,1 МэВ, нормально падающего на плоскую защиту толщиной h :
1 - фибробетон, 2 –сталь, 3 – свинец

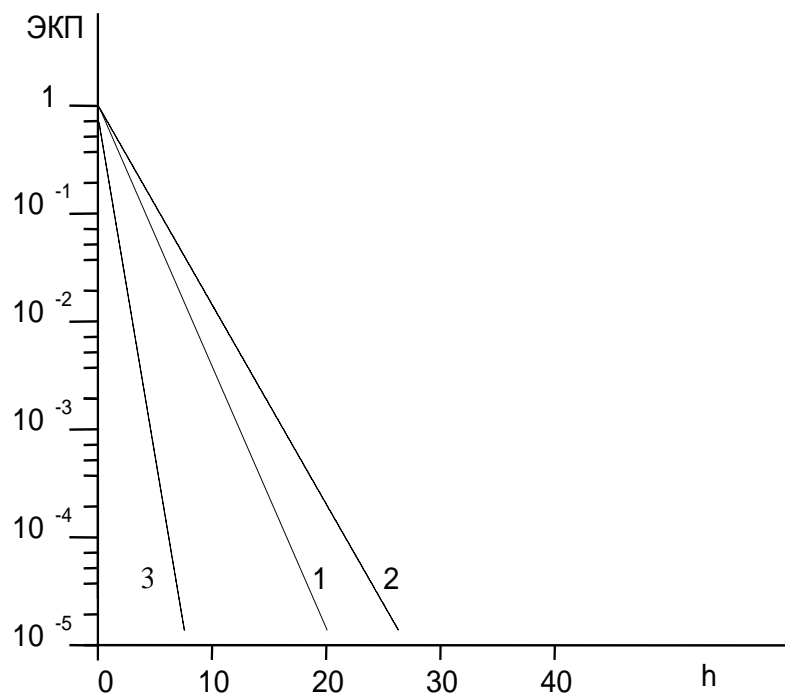


Рис. 3. Энергетические коэффициенты пропускания для плоского мононаправленного источника с энергией 0,5 МэВ, нормально падающего на плоскую защиту толщиной h :
1 - фибробетон, 2 –сталь, 3 – свинец

Для высоких энергий ($E > 0,66$ МэВ) основным процессом взаимодействия является рассеяние фотона на электронах (эффект Комптона). Массовые коэффициенты ослабления фотонов в этом процессе слабо зависят от химического состава вещества. Следовательно, величи-

ны коэффициентов пропускания, полученные в геометрии узкого пучка, определяются лишь массовой толщиной защитных слоев. В этом случае решающая роль в характеристике защитных свойств материала принадлежит его плотности.

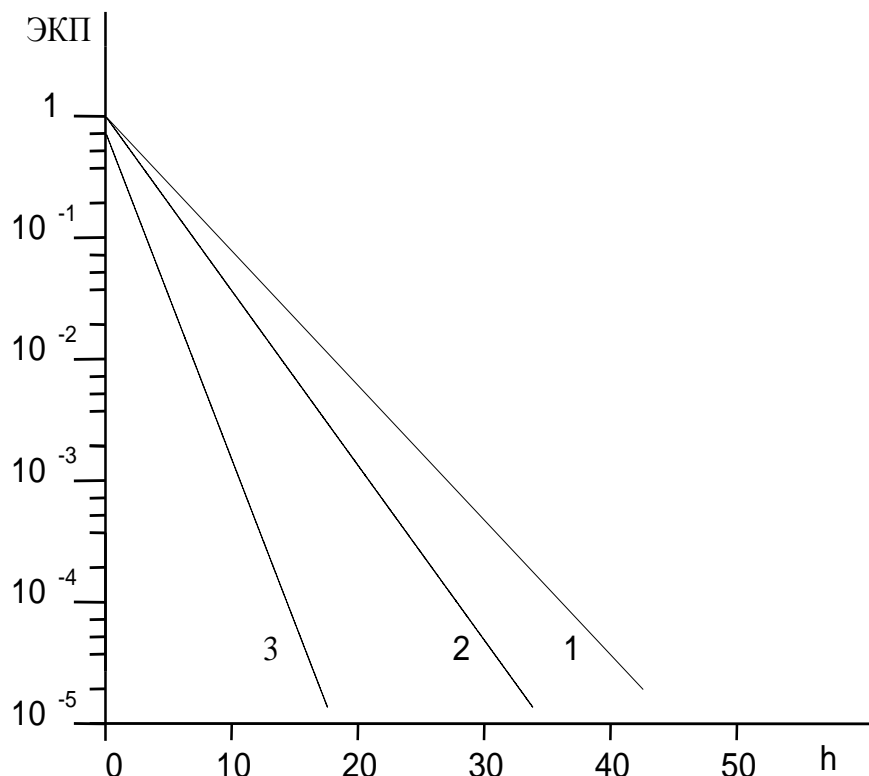


Рис.4. Энергетические коэффициенты пропускания для плоского мононаправленного источника с энергией 1,0 МэВ, нормально падающего на плоскую защиту толщиной h :
1 - фибробетон, 2 –сталь, 3 – свинец

Прохождение γ -квантов от источников через стенку защиты моделировалось методом Монте-Карло. Физическая модель процессов и константное обеспечение [5] позволили провести расчеты для энергий фотонов от 0,01 до 1,00 МэВ.

Изучены защитные свойства железобетонных материалов при воздействии на них точечных (ТГИ) и объемных (ОГИ) гамма-источников.

Эксперимент заключался в определении основных факторов, характеризующих качество

защитного материала: кратности ослабления (K) и линейного коэффициента ослабления (μ), учитывающего толщину защиты (L).

Результаты измерений для ТГИ представлены на рис. 5.

Теоретически рассчитанные значения линейных коэффициентов ослабления, выполненные по методу Монте-Карло в исследованном энергетическом интервале (табл.1) близки к экспериментальным, что дает основание использовать их на практике.

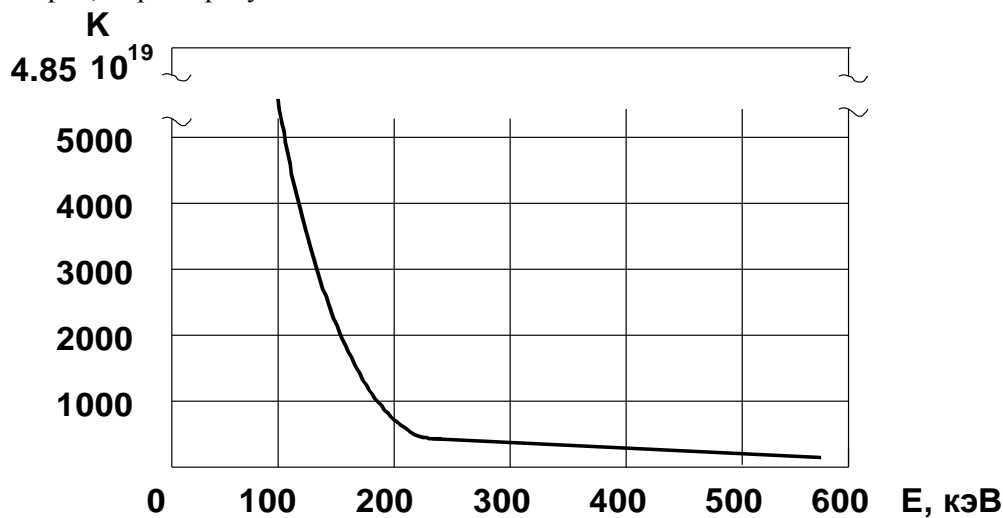


Рис. 5. Зависимость кратности ослабления ТГИ фибробетона с гематитовым наполнителем от энергии γ -излучения (толщина защиты $L=3$ см)

Таблица 1

Линейный коэффициент ослабления (μ) ТГИ для защитного материала на основе фибробетона

| Тип материала | ρ , кг/м ³ | μ , см ⁻¹ для энергий (кэВ) ТГИ | | | | | |
|---------------|----------------------------|--|------|------|------|------|------|
| | | 60 | 122 | 166 | 392 | 511 | 661 |
| Фибробетон | 3500 | 6,82 | 2,95 | 1,95 | 0,48 | 0,36 | 0,22 |

Результаты измерений радиационно-защитных свойств защитного материала для объемных γ -источников представлены на рис.6, где кратность ослабления имеет вид слабо возрастающих кривых с увеличением величины

поглотителя L . Значения линейного коэффициента ослабления μ (см⁻¹) для ОГИ показано в табл. 2.

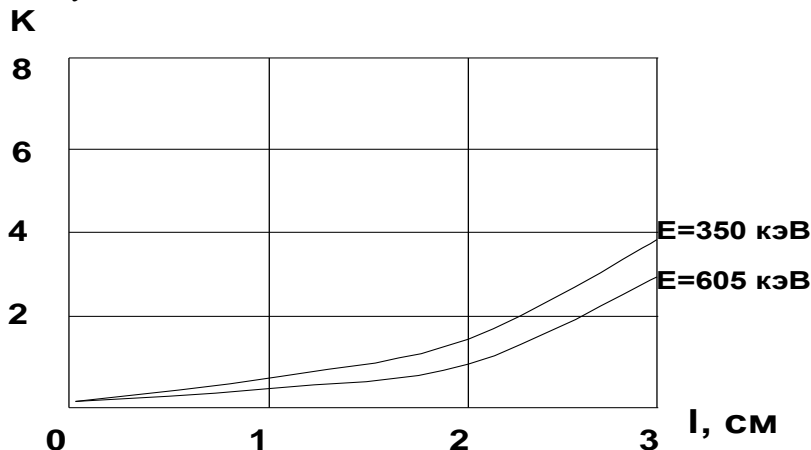


Рис. 6. Зависимость кратности ослабления ОГИ от толщины защитного материала на основе фибробетона для γ -источника ²²²Ra

Таблица 2

Линейный коэффициент ослабления (μ) ОГИ для защитного материала на основе фибробетона

| Тип материала | ρ , кг/м ³ | μ , см ⁻¹ для энергий (кэВ) ОГИ | | | | | |
|---------------|----------------------------|--|------|------|------|------|------|
| | | 59 | 168 | 350 | 605 | 847 | 1811 |
| Фибробетон | 3500 | 8,37 | 2,12 | 0,65 | 0,26 | 0,11 | 0,04 |

Использование ОГИ - это моделирование реальной ситуации взаимодействия γ -излучения с защитными стенками фибробетонных контейнеров с РАО.

Таким образом, новый подход к решению создания долговечного и безопасного контейнера для утилизации РАО низкой и средней активности основан на разработке нового типа радиационно-защитного композиционного материала на основе тяжелого фибробетона, обладающего повышенными физико-механическими, конструктивными, радиационно-защитными свойствами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нормы радиационной безопасности (НРБ-2009): Гигиенические нормативы. М.: Информационно - издательский центр Госкомсанэпиднадзора России. 1999. 127 с.

2. Сорокин В.Т., Куликов А.В. Обращение с радиоактивными отходами с использованием невозвратных. М.: Минатомпром. НТС на Балаковском АЭС. 1994. С. 40-41.

3. Wyckoft H.O., Kennedy R.I. Broad-and narrow beam attenuation of 400-1400 kV X-rays in lead and concrete. Radiol. 1958. 849 p.

4. Матюхин П.В. Неорганический радиационно-защитный металлокомпозиционный материал строительного назначения // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. №9. С.35-39.

5. Машкович В.П. Защита от ионизирующих излучений. Справочник. М. 1982. 296 с.

6. Композиционный материал, стойкий к воздействию высокоэнергетических излучений / П.В. Матюхин, В.И. Павленко, Р.Н. Ястребинский // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. № 2. С. 25-27.