

ОСОБО ТЯЖЕЛЫЙ ЖЕЛЕЗО-СЕРПЕНТИНОВЫЙ БЕТОН

В.И. Павленко¹, В.М. Береснев², Ш.М. Рахимбаев¹,
И.И. Кирияк¹, Д.А. Колесников³

¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия

²Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина
Украина

³Белгородский государственный университет
Россия

Поступила в редакцию 28.07.2011

Предлагается технологическая разработка недорогого и эффективного бетона на основе железо-серпентина для биологической защиты ядерных реакторов типа РБМК АЭС. Приводятся физико-механические характеристики материала по результатам испытаний.

Ключевые слова: бетон, биологическая защита реакторной зоны, γ -излучение, механическая прочность, радиационная устойчивость

Пропонується технологічна розробка відносно дешевого та ефективного бетону на основі залізо-серпентину для біологічного захисту реакторів типу РВПК АЕС. Наводяться фізико-механічні характеристики матеріалу за результатами випробувань.

Ключові слова: бетон, біологічний захист реакторної зони, γ -випромінювання, механічна міцність, радіаційна стійкість

Technological development of inexpensive and effective concrete based on iron-serpentine for biological shielding of nuclear reactors RBPC APP is proposed. The physical and mechanical characteristics of the material on the test results are presented.

Keywords: concrete, biological protection of the reactor zone, γ -radiation, mechanical strength, radiation resistance

Для ядерных энергоблоков с РБМК требуется модернизация существующих и создание новых более эффективных материалов для биологической защиты реакторной зоны, эксплуатирующихся без потери значительного количества химически связанной воды при температурах до 300 °С. Одним из таких материалов является новый тип безусадочного, радиационно-защитного особо тяжелого бетона на основе железо-магнетито-серпентиновых (серпентин в виде хризотила) композиций с цементным связующим серии ЖМСЦ, сохраняющий до 70% связанной воды при нагревании до 300 °С, который разработан в Белгородском государственном технологическом университете им. В.Г. Шухова, по согласованию с институтом “НИКИЭТ” взамен железо-барий-серпентинитового (серпентин в виде лизардита) цементного бетона серии (ЖБСЦК), используемого для изготовления бетонных блоков радиационной защиты Сб-11 реакторов РБМК.

Объемная масса бетона из материала ЖБСЦК после сушки при температуре 100 ÷ 120 °С составляла $3,8 \pm 0,1$ т/м³. Механическая прочность на сжатие изделий в возрасте 28 суток – не менее 200 кг/см². Максимальная рабочая температура – до 300 °С. При такой температуре в цементном камне сохраняется до 1 масс.% кристаллизационной воды, что обеспечивает высокие защитные свойства ЖБСЦК по отношению к нейтронному излучению.

Целью данной работы явилось получение тяжелых бетонов с более высокими, чем у существующих, эксплуатационными показателями.

Сухая бетонная смесь ЖМСЦ для изготовления радиационно-защитных блоков Сб-11 сертифицирована в Госстандарте РФ (ТУ-5741-002-0406470-95) и Государственном комитете санитарно-эпидемиологического надзора РФ (Гигиенический сертификат № 19.МЦ06.515.П.04041.В6 от 20.02.96г. Центра Госсанэпиднадзора г. Москвы.

Изготовление смесей, особо тяжелых радиационно-защитных бетонов, и изделий из них может быть организовано в условиях производства ЖБИ или на специализированных промышленных полигонах.

Бетонные блоки Сб-11 из смеси ЖМСЦ изготавливаются в соответствии с требованиями ГОСТ 6133-84 (“Камни бетонные стеновые”) и разработанными в БГТУ нормативно-технологическими рекомендациями. Проектно-технологическая документация на изготовление смеси ЖМСЦК и изделий из нее проводилась в соответствии с требованиями соответствующих норм и правил [1 – 4], в том числе – “Общих положений обеспечения безопасности атомных станций” ПН АЭГ-1-011-89 (ОПБ-88).

В основу проектных решений положен принцип не превышения действующих нормативов по внешнему и внутреннему облучению персонала и населения, и содержанию ВХВ в объектах окружающей среды при нормальной эксплуатации, отказах и в течение всего времени эксплуатации реакторов РБМК.

Для исследования поведения бетонов под действием γ -излучения были изготовлены две серии образцов, достигшие возраста 28 суток и хранившиеся в нормальных условиях. Одна – контрольная, а вторая – подвергаемая действию γ -излучения. Облучение проводили в НИКИЭТ на промышленной установке γ -излучения с энергией излучения 1,25 МэВ и мощностью дозы – 2 Мрад/час. Создаваемый мощный поток γ -квантов на этой установке позволяет получить требуемую дозу за короткий срок. Это открывает возможность исследования структуры материала без значительного влияния на нее процессов гидратации цементного камня. Сообщение материалу такого значительного энергетического воздействия удаляет его от термодинамического равновесия, что создает условия для возникновения в нем значительных флуктуационных процессов, направленных на создание нарушений регулярности структуры. Для уменьшения интенсивности флуктуации целесообразно создание композитов с минимальной величиной анизотропии их свойств, что обеспечивается соответствующей дисперсностью компонентов смеси ЖМСЦ.

Установлено, что при больших дозах γ -облучения:

- прочность материала практически не изменялась.

- структура облученных и контрольных образцов бетона плотная, без видимых трещин (оптические исследования при увеличении $\times 200$)

Это подтверждает, что влияние γ -излучения на свойства портландцементных бетонов по сравнению с нейтронным воздействием незначительно. Для изучения влияния нейтронного облучения на наш бетон были проведены соответствующие исследования в НИКИЭТ.

Образцы бетона облучались в активной зоне ядерного реактора ВВРМ в канале с плотностью потока $5,1 \cdot 10^{13}$ н/(с·см²). Анализ спектра облученных образцов проводили по специальной методике. Результаты измерений определения активности и радионуклидного состава бетонов из смеси ЖМСЦ после их облучения нейтронами, показали, что эти показатели у них лучше, чем у бетона ЖБСЦ.

Для тепловых нейтронов сечения выведения и длины релаксации определены для области установления стационарного состояния, когда кривая ослабления плотности потока выходит на экспоненту. В данном случае это происходит, начиная, примерно, с толщины 30 см.

Для вариантных расчетов и получения пространственно-энергетических распределений потоков нейтронов и γ -квантов в рассматриваемых материалах защиты были использованы композиции, состоящие из активной зоны реактора, конструктивных элементов реактора и отражателя, слоя серпентинового бетона, толщиной 50 см, и слоя исследуемого защитного материала, толщиной 1 м. По программе ANISN, реализующей решение одномерного транспортного уравнения методом дискретных ординат с учетом анизотропии рассеяния в плоской геометрии для сравнения ослабляющих свойств материалов были рассчитаны теоретические сечения выведения быстрых нейтронов и сечения выведения для ряда функционалов и пространственно-энергетические распределения плотностей потоков нейтронов и γ -квантов,

а также распределения мощности дозы от нейтронов и γ -квантов. Рассчитаны длины релаксации, как обратные значения величинам сечений выведения.

Спектр нейтронов рассчитывался для 12-ти группового разбиения энергетического интервала. Спектр γ -квантов имел 6-ти групповое разбиение. Для проведения сравнения защитных свойств материалов все расчётные варианты нормированы на одну и ту же мощность реактора.

Выполненные сравнительные расчетные исследования защитных свойств материала ЖБСЦК, используемого для изготовления блоков Сб-11 РБМК, и вновь разработанного альтернативного железо-магнетито-серпентиново-цементного (ЖМСЦ) бетона, представленные в относительной нормировке без привязки реальной мощности реактора РБМК, показали, что величины длин релаксаций для функционалов нейтронного и γ -излучений составляют:

для материала ЖБСЦК		
λ_n (б. н.) = 10,8 см	λ_n (доза) = 13,0 см	λ_γ (доза) = 9,2 см
для материала ЖМСЦ		
λ_n (б. н.) = 8,8 ÷ 9,4 см	λ_n (доза) = 0,0 ÷ 11,5 см	λ_γ (доза) = 8,6 – 8,9 см

Из полученных данных видно, что защитные свойства материала ЖМСЦ по отношению к γ -излучению лучше, чем у ЖБСЦК, а по отношению к нейтронному излучению заметно превосходят материал ЖБСЦК. Это связано с тем, что в материале ЖМСЦ содержится больше, чем в ЖБСЦК, связанной воды. Длина релаксации быстрых нейтронов и мощности дозы нейтронов в материале ЖМСЦ на 10 ÷ 20% меньше, чем в ЖБСЦК. Поэтому, при замене блоков Сб-11 на настиле плиты реактора РБМК из смеси ЖБСЦК на блоки из материала ЖМСЦ, мощность дозы нейтронов может снизиться в 1,5 ÷ 2 раза.

Бетоны, полученные из смеси ЖМСЦ, имеют следующие основные характеристики:

- плотность высушенного при 110 °С бетона 4000 ± 20 кг/м³;
- прочность при сжатии после 1 сут. твердения (${}^{1\text{сут}}R_{\text{сж}}$) 10 ± 3 МПа;
- прочность при сжатии после 3 сут. твердения (${}^{3\text{сут}}R_{\text{сж}}$) 25 ± 4 МПа;

- прочность при сжатии после 28 сут. твердения (${}^{28\text{сут}}R_{\text{сж}}$) 45 ± 5 МПа;
- класс по прочности на сжатие В 35;
- количество химически связанной воды при 300 °С до 2 масс.%;
- линейный коэффициент ослабления γ -излучения для ${}^{60}\text{Co}$ $0,23 \pm 0,01$ см⁻¹;
- температура эксплуатации до 300 °С.

Проведенные исследования показали, что материал ЖМСЦ по основным эксплуатационным (главное защитным) характеристикам превосходит ЖБСЦК. Замена материала ЖБСЦК в блоках Сб-11 реактора РБМК на разработанный альтернативный материал ЖМСЦ не приведет к ухудшению радиационной обстановки над реактором.

ЛИТЕРАТУРА

1. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных электростанций (СП-АЭС-88/93) – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 37 с.
2. Воронин Л.А. Особенности проектирования и сооружения АЭС. – М.: Атомиздат, 1980. – 188 с.
3. Самерсова А.С. и др. Корпуса и защитные оболочки энергетических ядерных реакторов. – М.: ВИНТИ, 1981. – 106 с.
4. Кремлевская Е.А. Атомные электростанции с “быстрыми” реакторами. – М.: ВИНТИ, 1993. – 129 с.

LITERATURA

1. Sanitarne pravila projektiranja i jekspluatacii atomnyh jelektrostanacij (SP-AJeS-88/93) – М.: Jenergoatomizdat, 1993. – 37 s.
2. Voronin L.A. Osobennosti projektiranja i sooruzhenija AJeS.– М.: Atomizdat, 1980. –1 88 s.
3. Samersova A.S. i dr. Korpusa i zashhitnye oblochki jenergeticheskikh jadernyh reaktorov. – М.: VINITI, 1981. – 106 s.
4. Kremlevskaja E.A. Atomnye jelektrostanicii s “bystryimi” reaktorami. – М.: VINITI, 1993. – 129 s.