

Молодёжный научный семинар

«Реакторы на быстрых нейтронах и соответствующие топливные циклы»

г. Екатеринбург, 28-29 июня 2017 г.



Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия

Лукияненко В.Ю., Михайлова А.Ф., Русских И.М., Селезнев Е.Н., Козлов А.В.

АО «Институт реакторных материалов», г. Заречный, Россия

Оптимизация состава радиационной защиты

Принцип оптимизации, являющийся одним из основных в радиационной безопасности, может быть реализован несколькими путями. Одним из них является оптимизация состава гомогенных радиационно-защитных материалов применительно к планируемым условиям облучения. Возможность реализации принципа оптимизации при проектировании состава гомогенных радиационно-защитных материалов основывается на зависимости поглощающей способности защитных материалов от энергии γ -квантов, испускаемых изотопами, входящими в состав радиоактивного загрязнения. В свою очередь, радиоизотопный состав зависит от многих факторов, например, типа реакторной установки, режима эксплуатации, времени, останова реактора.

Способы снижения облучаемости

Среди способов снижения облучаемости персонала (увеличение расстояния от источника до человека, уменьшение времени пребывания в радиационных полях, снижение мощности дозы излучения от источника) важную роль играет экранирование источника ионизирующего излучения. В настоящее время использование экранов ограничено небольшим выбором материалов, часто не обладающих удобством использования, что затрудняет их установку и снятие.

Способы снижения облучаемости

Для защиты от γ -излучения применяют защитные экраны, наполнителем которых являются материалы с большим атомным номером и высокой плотностью (например, железо, свинец, вольфрам). В некоторых случаях для защиты (например, рентгеновских кабинетов) используют барит, как добавку в строительные материалы. Наилучшей защитной эффективностью среди традиционных материалов обладают вольфрам, свинец. Однако их стоимость весьма значительна.

Способы снижения облучаемости

Зависимость поглощающей способности защитного материала от спектра γ -излучения (изотопного состава) источника определяет значительный потенциал в реализации принципа оптимизации радиационной защиты путем подбора состава поглотителей (химических элементов), обеспечивающих необходимую кратность ослабления излучения для конкретных ситуаций облучения, при минимальных затратах.

Изотопный состав радиоактивного загрязнения

В реакторных установках с БН-600 радиоактивность натриевого теплоносителя при работе определяется ^{24}Na , после останова и выдержки ~ 10 сут – ^{22}Na и ^{137}Cs . Поверхностное загрязнение оборудования первого контура, которое определяется такими изотопами, как ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{137}Cs , является важной характеристикой при ремонтных работах. Изотопный состав радиоактивного загрязнения в контурах реакторных установок с водным теплоносителем примерно одинаков – ^{58}Co , ^{60}Co , ^{54}Mn , ^{59}Fe , ^{51}Cr .

Изотопный состав радиоактивного загрязнения

При возможности отсрочки выполнения работ на радиоактивных системах, например, демонтаж энергоблоков АЭС, выводимых из эксплуатации, радиационный фон определяется долгоживущими ^{137}Cs и ^{60}Co . Однако в условиях эксплуатации, в том числе во время ремонта, модернизации и реконструкции радиационная обстановка может определяться также изотопами с небольшим периодом полураспада и спектром γ -излучения в зависимости от типа реакторной установки, конструктивных особенностей оборудования и др.

Материалы и методы исследований

Необходимым условием создания защиты с заданными поглощающими свойствами является возможность изготовления материала с равномерным распределением поглотителя требуемой концентрации. Этим требованиям удовлетворяет гомогенный радиационно-защитный материал (РЗМ) Абрис, разработанный специалистами ООО «Завод герметизирующих материалов». Он представляет собой гомогенную композицию на основе полимерного связующего, наполнителя, пластификатора и технологических добавок. Технология позволяет получать материал высокого качества при необходимой концентрации наполнителей с учетом изотопного состава радиоактивного загрязнения.

Материалы и методы исследований

Для проведения исследований были выбраны три источника γ -излучения с различными энергиями γ -квантов. При их выборе учитывались результаты анализа изотопных составов радиоактивных загрязнений реакторных установок различных типов, а также возможности получения изотопов для экспериментальной проверки расчетных результатов на исследовательском реакторе ИВВ-2М

Материалы и методы исследований

Кратность ослабления мощности дозы γ -излучения защитным материалом с различной концентрацией поглотителей (барита, свинца, вольфрама) определялась с помощью высокопрецизионных расчетных кодов, реализующих метод Монте-Карло. Расчетная модель включает в себя цилиндрический источник γ -излучения, детектор γ -излучения в виде сферы диаметром 20 мм, который заполнен материалом, близким по составу к человеческой ткани, и защитный материал в виде квадратной пластины определенной толщины.

Оптимизация состава наполнителя РЗМ

Алгоритм проектирования состава гомогенных защитных материалов с заданными ослабляющими свойствами по отношению к γ -излучению укрупненно представлен на рис.1. На основании исследования изотопного состава радиоактивных загрязнений в соответствующих элементах АЭС определяется энергетический спектр излучения. Используя данные по пооперационным трудозатратам, производится планирование дозовых затрат персонала. При этом выявляются места рабочей зоны, для которых необходимо экранирование от излучения. Вводятся требования к характеристикам защитного материала (например, ограничения по толщине).

Алгоритм определения оптимального состава радиационно-защитного материала

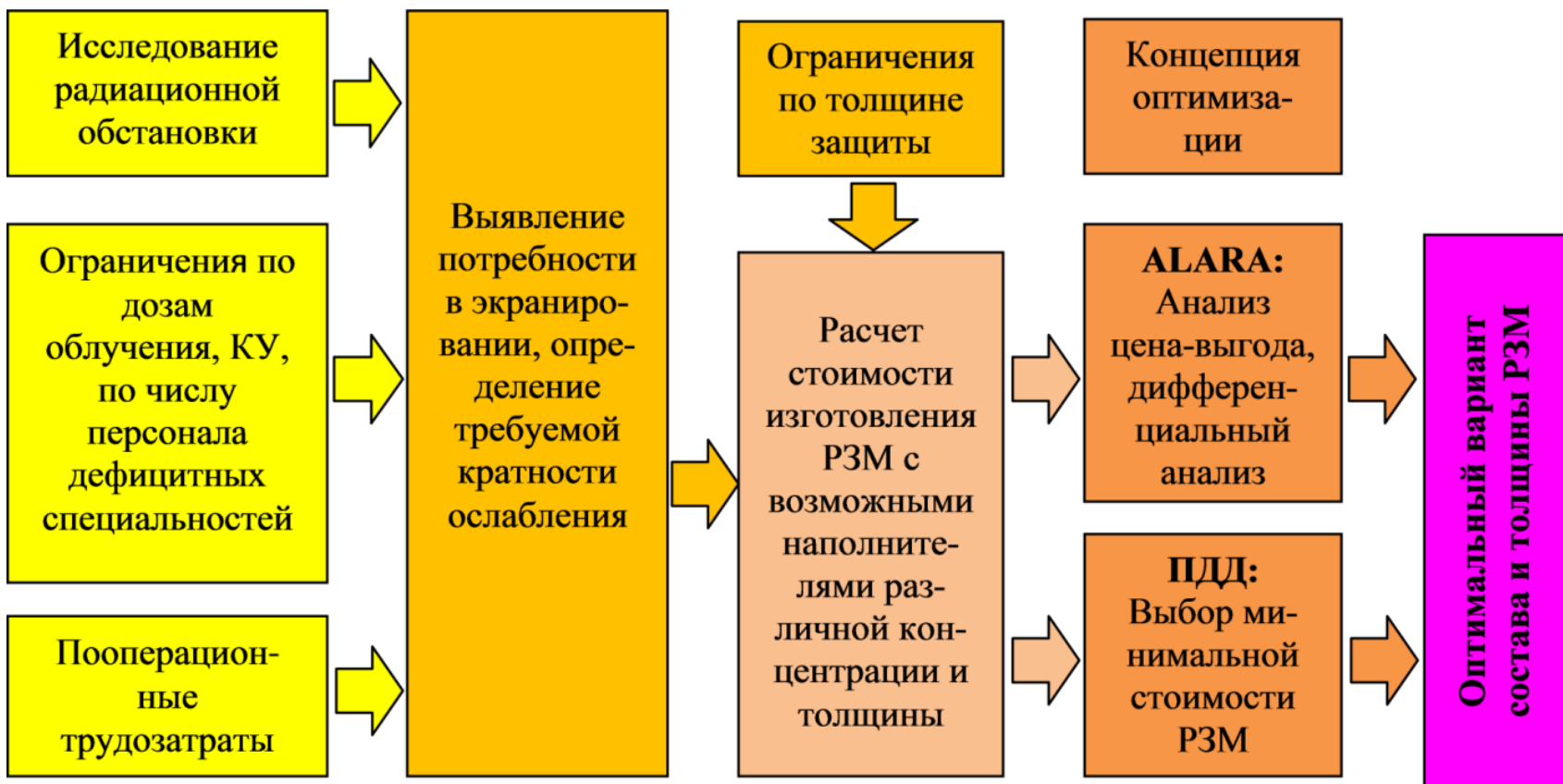


Рисунок 1

Используя принцип ALARA (As Low As Reasonably Achievable – настолько низко насколько разумно достижимо), определяется оптимальная концентрация возможных наполнителей и толщина гомогенного защитного материала с использованием одного из методов, применяемых в рамках процедуры ALARA (например, анализа «Затраты-выгода»).

В ряде случаев при планировании радиационно опасных работ используется концепция предельно допустимых доз. На основании необходимой кратности ослабления мощности дозы γ -излучения в отдельных точках рабочей зоны и ограничений по толщине экранирующего материала производится определение необходимой концентрации возможных наполнителей и сравнение стоимости защитных материалов.

Результаты и их обсуждение

В результате проведения комплекса исследований получены расчетные зависимости коэффициентов ослабления излучения, создаваемого характерными для различных ситуаций, радиоактивными источниками для различных вариантов. На основании физических и стоимостных характеристик защитного материала различного состава (барит, свинец, вольфрам) получены данные по толщине и стоимости защиты для требуемых кратностей ослабления излучения. В качестве примера на рисунках 3-5 приведены данные по различным вариантам радиационной защиты, обеспечивающей пятикратное ослабление мощности дозы γ -излучения от трех источников – Co-60, Mn-54 и Cs-137.

Стоимость и толщина РЗМ с разными наполнителями, обеспечивающего пятикратное ослабление мощности дозы гамма-излучения

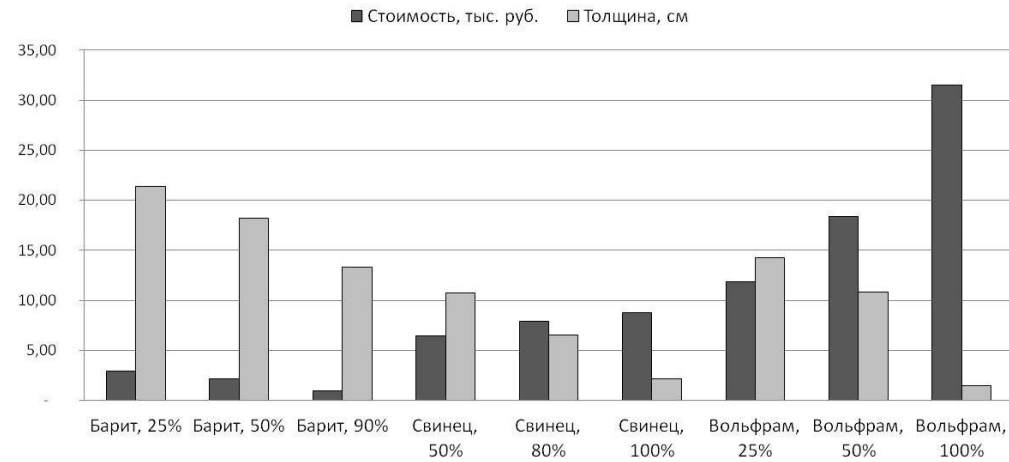
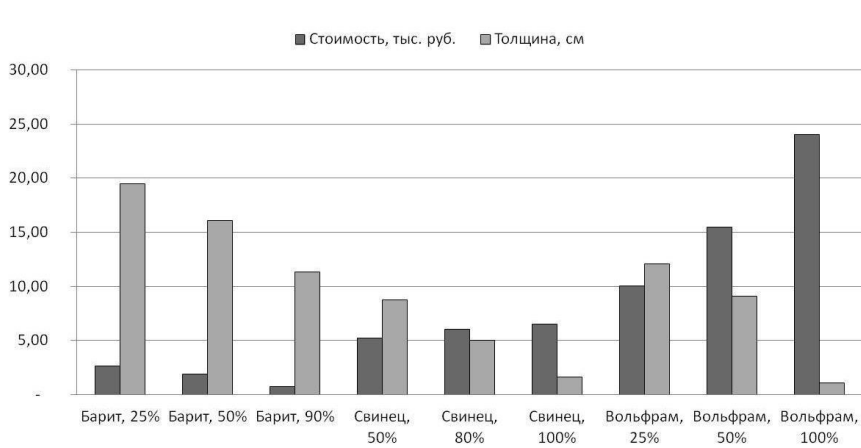


Рисунок 2: Cs-137

Рисунок 3: Mn-54

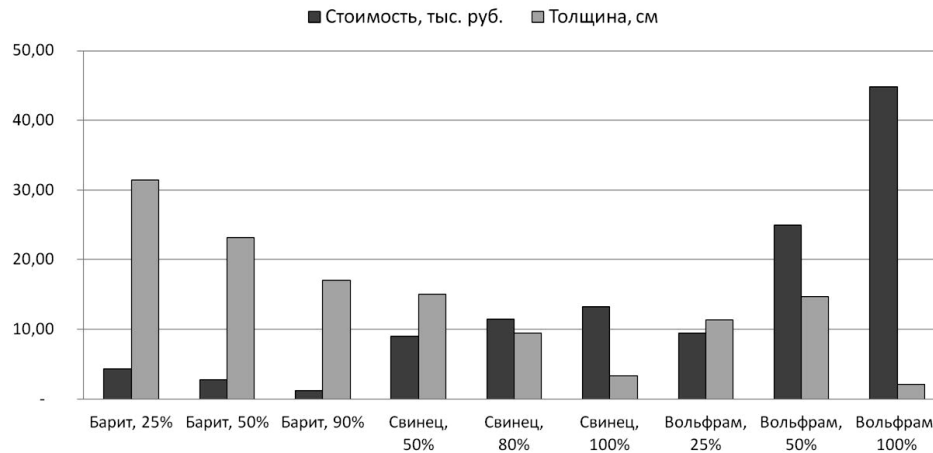


Рисунок 4: Co-60

Для принятия решений в радиационной защите существует стандартное значение, известное как параметр «альфа» (α) – стоимость 1 чел·мЗв или денежный эквивалент единицы коллективной дозы. Его значение рекомендовано государственными организациями, ответственными за радиационную защиту в каждой стране, либо устанавливается внутри организаций.

На рис.5 в качестве примера приведены результаты оптимизации радиационной защиты с использованием процедуры АЛАРА (метод «Затраты-выгода»). Данные по радиационной нагрузке, и трудозатратам взяты из технологического процесса на выполнение комплекса операций при демонтаже одного из объектов использования атомной энергии, выводимого из эксплуатации.

Анализ «Затраты - выгода» для РЗМ со свинцовым наполнителем (50%), источник Со-60

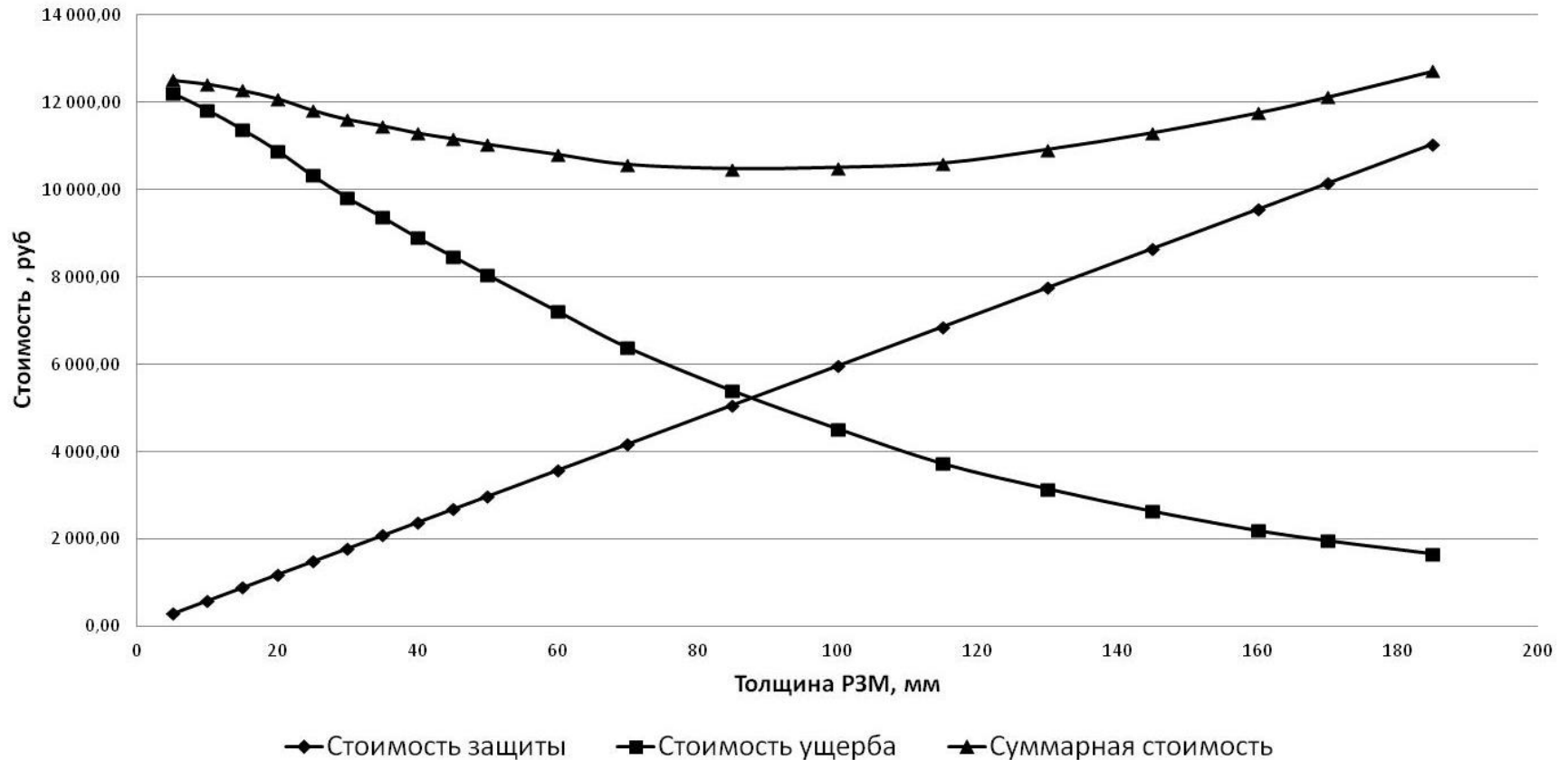


Рисунок 5

Выводы

- Проектирование состава гомогенных радиационно защитных материалов имеет значительный потенциал в реализации принципа радиационной защиты в ситуациях планируемого и аварийного облучения.
- Проведенные расчетно-экспериментальные исследования ослабляющих свойств гомогенных радиационно защитных материалов по отношению к γ -излучению показывают хорошую сходимость результатов и могут быть использованы для проектирования заданных защитных свойств.
- Технология производства гомогенных радиационно защитных материалов типа Абрис позволяет обеспечивать требуемые защитные свойства для конкретных условий облучения (состава радиоактивных загрязнений).

REFERENCES

1. Tashlykov O. I. , *Dose Costs of Personnel in the Nuclear Industry: Analysis, Reduction, Optimization*, Lambert
2. Academic Publishing GmbH & Co., Germany (2011).
3. Tashlykov O. L., Shcheklein S. E., Russkikh I. M., Seleznev E. N., and Kozlov A. V. Composition Optimization of Homogeneous Radiation-Protective Materials for Planned Irradiation Conditions // *Atomic Energy*, Vol. 121, No. 4, February, 2017, pp.303-307.
4. Tashlykov O.L., Shcheklein S.Ye., Lukyanenko V.Yu., Mikhaylova A.F., Russkikh I.M., Seleznev Ye.N., Kozlov A.V. The optimization of radiation protection composition // *Nuclear Energy and Technology 2* (2016) pp. 42-44.
5. Russkikh I. M., Seleznev E. N., Tashlykov O. L, Shcheklein S. E. Experimental and Theoretical Study of Organometallic Radiation-Protective Materials Adapted to Radiation Sources with a Complex Isotopic Composition // *Physics of Atomic Nuclei*, 2015, Vol. 78, No. 12, pp. 1451-1456
6. Tashlykov O. L. , Shcheklein S. E. , Khomyakov A. P. , et al., “Computational and experimental study of homogeneous protection against gamma radiation,” *Yad. Rad. Bezopas.*, No. 3(77), 17–24 (2015).

Благодарю за внимание!