

УДК 621.039

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА ГОМОГЕННЫХ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПЛАНИРУЕМЫХ УСЛОВИЯХ ОБЛУЧЕНИЯ

## DEVELOPMENT OF THE ALGORITHM FOR DETERMINING THE OPTIMAL COMPOSITION OF HOMOGENEOUS RADIATION-SHIELDING MATERIALS WITH THE PLANNED IRRADIATION CONDITIONS

**Лукьяненко Вера Юрьевна**, студент каф. «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: vera-lukyanenko@mail.ru. Тел.: +7(343)375-97-37

**Михайлова Алина Федоровна**, студент каф. «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: tuzik.snz@gmail.com. Тел.: +7(343)375-97-37

**Ташлыков Олег Леонидович**, кан-т. техн. наук, доцент каф. «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: [otashlykov@list.ru](mailto:otashlykov@list.ru). Тел.: +7(343)375-97-37

**Vera U. Lukyanenko**, Student, Department «Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: vera-lukyanenko@mail.ru. Ph.: +7(343)375-97-37

**Alina F. Mikhailova**, Student, Department «Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: tuzik.snz@gmail.com. Ph.: +7(343)375-97-37

**Oleg L. Tashlykov**, Cand. Sci., Associate professor, Department «Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: [otashlykov@list.ru](mailto:otashlykov@list.ru). Ph.: +7(343)375-97-37

**Аннотация:** Показана значимость оптимизации содержания компонентов радиационно-защитного материала, определяемого изотопным составом радиоактивных загрязнений, в зависимости от типа реакторной установки, продолжительности эксплуатации и других факторов. Приведен алгоритм определения оптимального состава радиационно-защитного материала. Описано применение разработанного алгоритма оптимизации на основе полученных результатов расчетного исследования ослабляющей способности гомогенных радиационно-защитных материалов с различными наполнителями по отношению к гамма-излучению.

**Abstract:** Shown is the importance of optimizing the content of components of radiation-shielding material defined by isotopic composition of radioactive contaminants, depending on the type of reactor facility, the duration of operation and other factors. The algorithm for determining the optimal composition of the radiation-shielding material is given. Described is the use of the developed optimization algorithm based on the results of calculation research of weakening ability of homogeneous radiation-shielding materials with a variety of fillers concerning gamma radiation.

**Ключевые слова:** принципы радиационной безопасности, доза облучения, оптимизация радиационной защиты, источник  $\gamma$ -излучения, кратность ослабления, метод Монте Карло, гомогенный радиационно-защитный материал.

**Key words:** principles of radiation safety, radiation dose, optimization of radiation protection, a source of  $\gamma$ -radiation, frequency attenuation, Monte Carlo method, a homogeneous radiation shielding material.

## ВВЕДЕНИЕ

В Публикации 103 Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ) от 2007 года подчеркивается усиление принципа оптимизации радиационной защиты, который должен равно применяться ко всем ситуациям облучения при условии ограничений индивидуальных доз и радиационных рисков, а именно: введение граничных доз и рисков для ситуаций планируемого облучения и референтных уровней для ситуаций аварийного облучения и существующего облучения.

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 [1].

Для защиты от  $\gamma$ -излучения применяют защитные экраны, наполнителем которых являются материалы с большим атомным номером и высокой плотностью (железо, свинец, вольфрам и т.д.). 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 [2].

Зависимость поглощающей способности защитного материала от спектра  $\gamma$ -излучения (изотопного состава) источника определяет значительный потенциал в реализации принципа оптимизации радиационной защиты путем подбора состава поглотителей, обеспечивающих необходимую кратность ослабления излучения для конкретных ситуаций облучения, при минимальных затратах [3].

В представленном докладе приведены результаты одного из этапов комплекса работ, проводимых в последние годы специалистами УрФУ и АО «Институт реакторных материалов» по проектированию оптимального состава гомогенных защитных материалов, адаптированных к конкретному составу радиоактивных загрязнений АЭС.

Для проведения исследований по оптимизации состава поглотителей гомогенных радиационно защитных материалов (РЗМ), разработанных в последние годы, использован РЗМ серии Абрис

РЗ, разработанный специалистами ООО «Завод герметизирующих материалов». РЗМ представляет собой гомогенную композицию на основе полимерного связующего, наполнителя, пластификатора и технологических добавок. Технология производства РЗМ позволяет формировать его необходимые защитные свойства с учетом изотопного состава радиоактивных загрязнений за счет использования необходимой концентрации различных наполнителей (барита, свинца, вольфрама и т.д.) [4].

Для определения коэффициентов ослабления мощности дозы  $\gamma$ -излучения от различных источников образцами защитного материала использовались высокоточные расчетные коды, реализующие метод Монте Карло расчета переноса совокупности нейтронов, фотонов, электронов с непрерывной энергией в обобщенной геометрии и с зависимостью от времени. В задачах переноса частиц приемы Монте-Карло наиболее близки к реальности [2].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Алгоритм проектирования состава гомогенных защитных материалов с заданными ослабляющими свойствами по отношению к  $\gamma$ -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. Выявляются места рабочей зоны, для которых необходимо экранирование от излучения. Вводятся требования к характеристикам защитного материала (например, ограничения по толщине).

Дополнительно могут возникнуть ограничения по облучаемости специалистов отдельных категорий (высококвалифицированных дефектоскопистов, сварщиков и др.), что потребует снижения мощности дозы, несмотря на стоимость защитных мероприятий [5].

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 (ПДД).

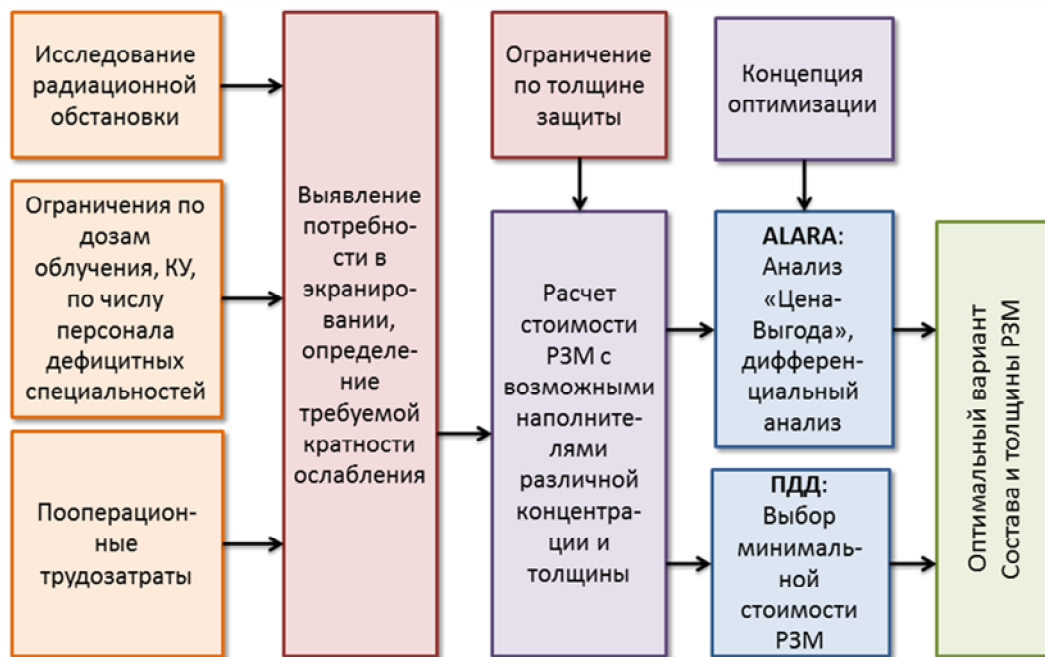


Рис. 1. Алгоритм определения оптимального состава радиационно-защитного материала

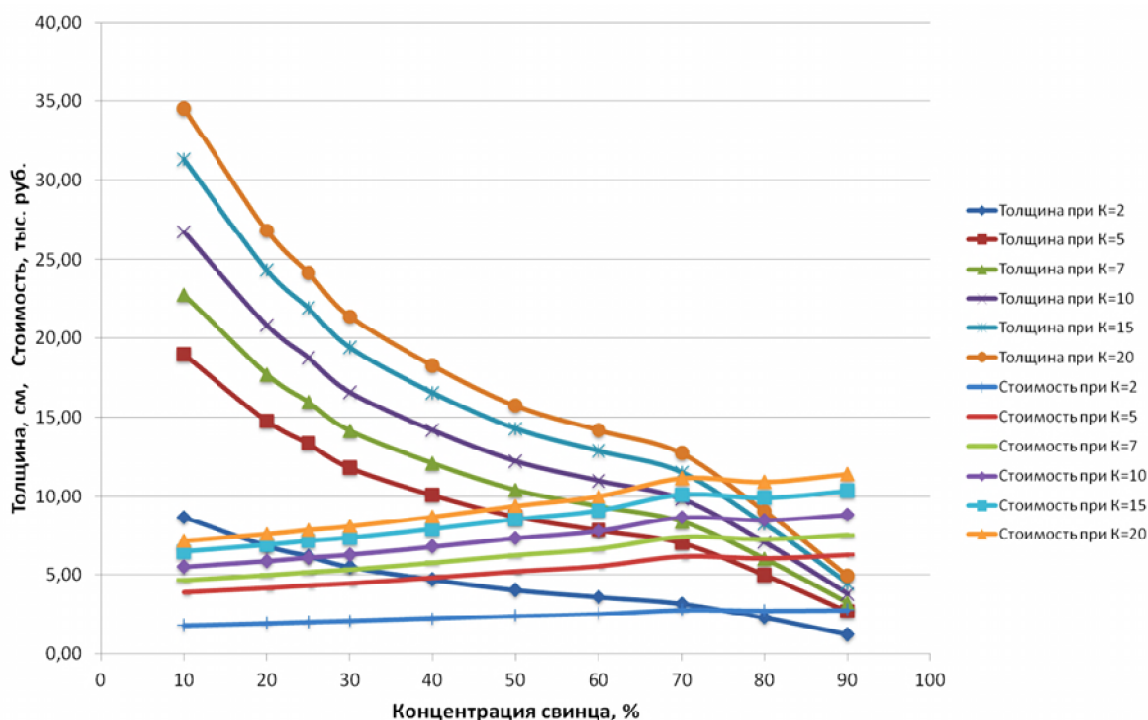


Рис. 2. Стоимость и толщина РЗМ со свинцовым наполнителем в зависимости от его концентрации для некоторых коэффициентов ослабления  $\gamma$ -излучения от источника Cs-137

В этом случае на основании необходимой кратности ослабления мощности дозы  $\gamma$ -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 исследования были получены расчетные зависимости коэффициентов ослабления излучения, создаваемого характерными для различных ситуаций, радиоактивными источниками. На основании физических и стоимостных характеристик защитного материала различного состава были получены данные по необходимой толщине и стоимости защиты для необходимых кратностей ослабления излучения. В качестве примера на рис. 2 приведены данные по вариантам сочетания толщины РЗМ и его стоимости для требуемых коэффициентов ослабления  $\gamma$ -излучения от источника Cs-137. Расчеты проводились для РЗМ с различными наполнителями (барит, свинец, вольфрам) с концентрациями 25-100%.

После выполнения вычислений были проведены расчеты оптимального варианта защиты, который зависит от того, сколько средств может быть затрачено, чтобы снизить коллективную дозу на 1 чел.мЗв. Для принятия решений в радиационной защите существует стандартное значение, известное как параметр «альфа» ( $\alpha$ ) – 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. 3 приведены результаты оптимизации толщин радиационно защитных материалов с наполнителями вольфрам и свинец с концентрацией 50% с использованием процедуры АЛАРА (метод «Затраты-выгода»). При этом стоимость 1 чел.мЗв принята 1000 руб [6].

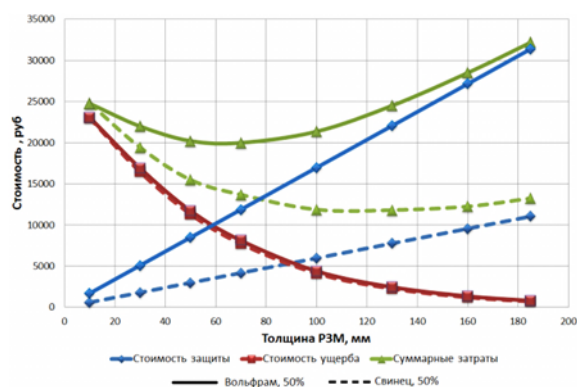


Рис. 3. Кривые анализа «Затраты - выгода» для РЗМ с наполнителем свинец (50%) и вольфрам (50%), источник Cs-137

Как следует из графиков, вольфрам-содержащие РЗМ выгодно использовать, если работы проводятся в физически стесненных условиях, ограничивающих толщину защиты. При этом стоимость его будет выше свинец-содержащего РЗМ, использование которого становится целесообразным при толщинах 120-140 мм.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований подтверждают возможность реализации принципа оптимизации радиационной защиты путем проектирования защитных материалов с заданными свойствами применительно к конкретному радионуклидному составу радиоактивных загрязнений, зависящему не только от типа реакторной установки, но и от срока ее эксплуатации.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ташлыков О.Л. Дозовые затраты персонала в атомной энергетике. Анализ. Пути снижения. Оптимизация / О.Л.Ташлыков: монография. Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. RG. 2011. – 232 с.
2. Русских И.М., Селезнев Е.Н., Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е. Экспериментально-теоретическое исследование органометаллических радиационно-защитных материалов, адаптированных к источникам излучения со сложным изотопным составом // Ядерная физика и инжиниринг, 2014, том 5, №5, с.449-455
3. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Лукьяненко В.Ю., Михайлова А.Ф., Русских И.М., Селезнев Е.Н., Козлов А.В. Оптимизация состава радиационной защиты // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика 2015. № 4. С. 36-42.
4. Савченкова Г.А., Артамонова Т.А., Савченков В.П., Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Русских И.М., Селезнев Е.Н. Перспективы использования материалов серии Абрис для радиационной защиты персонала АЭС / Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики // Сб. докладов восьмой международной научно-технической конференции 23-25 мая 2012 г. М.: ОАО «Концерн Росэнергоатом», 2012. С.504-508
5. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Хомяков А.П., Русских И.М., Селезнев Е.Н. Расчетно-экспериментальное исследование гомогенных защит от гамма-излучения // Ядерная и радиационная безопасность. №3. 2015. С.17-24.
6. Серия докладов по безопасности, № 21. Оптимизация радиационной защиты при контроле облучения персонала. Международное агентство по атомной энергии, Вена, 2003.