

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

О.Л.Ташлыков*, С.Е.Щеклеин*, В.Ю. Лукьяненко*, А.Ф. Михайлова*, И.М. Русских, Е.Н. Селезнев**, А.В. Козлов****

**Уральский федеральный университет*

620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19

***ОАО «Институт реакторных материалов»*

624250, г. Заречный, Свердловская обл.



Целью работы является разработка алгоритма проектирования состава гомогенных радиационно-защитных материалов (РЗМ) для оптимизации радиационной защиты.

Для проведения исследований использовались гомогенные радиационно-защитные материалы типа Абрис, технология производства которых позволяет получать требуемые концентрации наполнителей. Оценка ослабляющей способности радиационно-защитного материала с концентрациями барита, свинца, вольфрама от 20 до 80% проводилась с использованием высокопрецизионных расчетных кодов. Для верификации результатов расчетов проведены экспериментальные исследования защитных свойств материала Абрис с различными концентрациями наполнителей. Для проведения эксперимента были наработаны в исследовательском реакторе ИВВ-2М пять источников гамма-излучения (^{60}Co , ^{58}Co , ^{198}Au , ^{54}Mn , ^{24}Na) с характерными энергиями излучения. Были использованы специально разработанная установка и измерительный прибор ДКС-АТ1123.

В результате проведения комплекса исследований получены расчетные зависимости коэффициентов ослабления излучения, создаваемого характерными для различных ситуаций радиоактивными источниками, для различных составов и толщин РЗМ. Эти данные являются исходными для оптимизации радиационной защиты.

Проектирование состава гомогенных РЗМ имеет значительный потенциал в реализации принципа оптимизации радиационной защиты. Как следует из сравнения результатов проведенного исследования коэффициентов ослабления мощности дозы γ -излучения гомогенными защитными материалами марки Абрис РЗ в зависимости от состава и толщины, отличие экспериментальных данных от значений, полученных расчетным методом, не превышает 5%.

Технология производства гомогенных РЗМ типа Абрис позволяет обеспечивать требуемые защитные свойства для конкретных условий облучения (состава радиоактивных загрязнений).

Ключевые слова: доза облучения, оптимизация радиационной защиты, гомогенный радиационно-защитный материал, кратность ослабления, исследовательский ядерный реактор.

© О.Л. Ташлыков, С.Е. Щеклеин, В.Ю. Лукьяненко, А.Ф. Михайлова, И.М. Русских, Е.Н. Селезнев, А.В. Козлов, 2015

ВВЕДЕНИЕ

Важную роль в снижении облучаемости персонала 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. Для защиты от γ -излучения применяют экраны из материалов с большим атомным номером и высокой плотностью (например, железо, свинец, вольфрам). В некоторых случаях для защиты (например, рентгеновских кабинетов) используют барит. Среди традиционных защитных материалов наиболее эффективны свинец и вольфрам. Однако их стоимость весьма значительна. Высокая пластичность требует решения сложных конструкционных задач при креплении листового свинца толщиной более 5 мм [1].

Поглощающая способность защитного материала зависит от спектра γ -излучения источника. Изотопный состав радиоактивных загрязнений в контурах реакторных установок с водным теплоносителем примерно одинаков (^{58}Co , ^{60}Co , ^{54}Mn , ^{59}Fe , ^{51}Cr). В реакторных установках типа БН-600 радиоактивность натрия при работе реактора определяется радионуклидом ^{24}Na , после останова – изотопами ^{22}Na и ^{137}Cs . Основной вклад в радиоактивность отложений на поверхностях, контактирующих с натрием, дает ^{54}Mn , с аргоном – ^{137}Cs [2].

При демонтаже блоков АЭС, выводимых из эксплуатации, радиационный фон определяется долгоживущими изотопами ^{137}Cs и ^{60}Co . В условиях эксплуатации, ремонта, модернизации и реконструкции радиационная обстановка может определяться другими изотопами с многообразием спектра гамма-излучения.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Для проведения исследований по оптимизации состава гомогенной радиационной защиты за основу взят материал 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 материала позволяет формировать требуемые защитные свойства материала с учетом изотопного состава радиоактивных загрязнений. Для этого рассчитывается необходимая концентрация наполнителей (например, барита, свинца, вольфрама).

Разновидностью гомогенного РЗМ является мастика, представляющая собою вязкотекучую массу с необходимым содержанием поглотителя (например, порошка баритового концентрата), закачиваемая в кассеты.

Для определения коэффициентов ослабления мощности дозы γ -излучения образцами защитного материала использовались высокоточные расчетные коды, реализующие метод Монте-Карло (определения 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.

Расчетная модель включает в себя цилиндрический источник γ -излучения, детектор γ -излучения в виде сферы диаметром 20 мм, заполненной материалом, близким по составу к человеческой ткани, и защитный материал в виде квадратной пластины определенной толщины [1].

Для верификации результатов расчетного определения защитных свойств РЗМ были проведены экспериментальные исследования с использованием пяти источников γ -излучения [3]. Выбор источников проводился с учетом характерного изотопного состава радиоактивных загрязнений реакторных установок различных типов.

Наработка источников гамма-излучения (^{60}Co , ^{58}Co , ^{198}Au , ^{54}Mn , ^{24}Na) для проведения эксперимента, производилась в «мокром» канале исследовательского реактора ИВВ-2М (табл. 1). В качестве мишеней для получения источников использованы активационные детекторы (металлические кобальт ^{59}Co , никель ^{58}Ni , золото, сплав с алюминием ^{197}Au , железо ^{54}Fe , алюминий ^{27}Al) из аттестованных наборов (АКН-Т-10 №014, СН-60/10, СН-65/11).

Таблица 1

Характеристики полученных источников γ -излучения

Источник γ -излучения	Время облучения, мин	Активность на конец облучения, Бк	Активность на момент измерения, Бк	Мощность дозы во время измерений на расстоянии 90 мм, мкЗв/ч	
				эксперимент	расчет
^{60}Co	20,0	$3,40 \cdot 10^6$	$3,40 \cdot 10^6$	151	147
^{58}Co	108,0	$6,83 \cdot 10^6$	$6,83 \cdot 10^6$	144	147
^{198}Au	15,0	$3,45 \cdot 10^7$	$1,73 \cdot 10^7$	146	141
^{54}Mn	1680,0	$9,45 \cdot 10^6$	$9,45 \cdot 10^6$	166	168
^{24}Na	60,0	$2,77 \cdot 10^6$	$9,10 \cdot 10^5$	55	56

Измерение кратности ослабления мощности дозы γ -излучения защитными материалами проводилось с использованием специального приспособления и измерительного прибора ДКС-АТ1123 (дозиметр рентгеновского и гамма-излучения).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунках 1, 2 приведены результаты расчетной оценки и проведенных экспериментальных исследований зависимости кратности ослабления мощности дозы γ -излучения (на примере изотопов ^{60}Co , ^{198}Au , ^{58}Co) от толщины защитного материала марки Абрис с наполнителями барит (содержание барита – 50 %) и свинец (содержание свинца – 20 %).

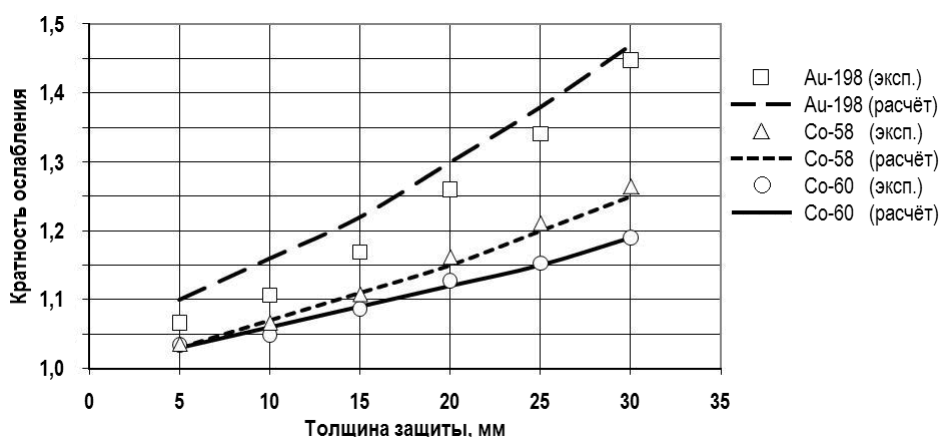


Рис. 1. Расчетные и экспериментальные зависимости кратности ослабления мощности дозы γ -излучения (источники ^{60}Co , ^{198}Au , ^{58}Co) от толщины защитного материала марки Абрис РЗнк-01 с наполнителем BaSO_4 50%

Алгоритм определения оптимального состава гомогенных РЗМ с заданными ослабляющими свойствами включает в себя исследование изотопного состава радиоактивных загрязнений для определения энергетического спектра излучения. С учетом данных по трудозатратам на отдельные операции производится планирование

дозовых затрат персонала. Выявляются места рабочей зоны, для которых требуется экранирование. Вводятся требования к характеристикам защитного материала (например, ограничения по толщине) и ограничения по облучаемости специалистов отдельных категорий (например, высококвалифицированных сварщиков, дефектоскопистов), следовательно, снижения мощности дозы несмотря на стоимость защитных мероприятий [4].

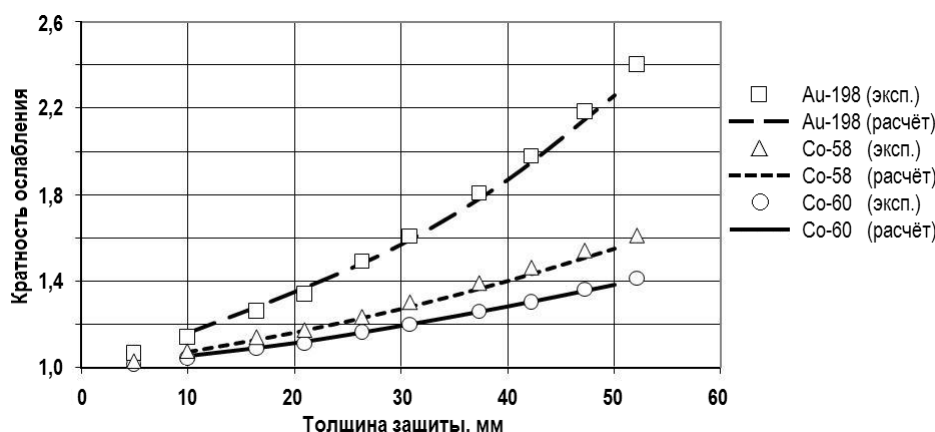


Рис. 2. Расчетные и экспериментальные зависимости кратности ослабления мощности дозы γ -излучения (источники ^{60}Co , ^{198}Au , ^{58}Co) от толщины защитного материала марки Абрис РЗнк-02 с наполнителем Рb 20%

На основании принципа ALARA (As Low As Reasonably Achievable – настолько низко насколько разумно достижимо) определяются оптимальная концентрация возможных наполнителей и толщина гомогенного защитного материала с использованием одного из методов, применяемых в рамках процедуры ALARA (например, анализа «затраты-выгода»). Эти методы основаны на использовании денежной стоимости единицы коллективной дозы (так называемой «величины альфа» или «денежной стоимости человека-зиверта»), которая представляет собой «размер денежной суммы, затрачиваемой в целях предотвращения одной единицы коллективной дозы» [5].

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

Наличие в составе защитного материала Абрис РЗ легких химических элементов в сочетании с тяжелым наполнителем позволяет прогнозировать возможность использования данного материала для защиты от смешанного нейтронного и γ -излучения. В настоящее время ведутся работы по расчетному обоснованию оптимального состава и экспериментальному исследованию защитных свойств гомогенных материалов по отношению к нейтронному излучению [6].

В результате проведения комплекса исследований были получены расчетные зависимости коэффициентов ослабления излучения, создаваемого характерными для различных ситуаций радиоактивными источниками, для различных составов и толщин РЗМ. Эти данные являются исходными для оптимизации защиты. В качестве примера на рис. 3 приведены данные по толщине и стоимости РЗМ для пятикратного ослабления мощности дозы излучения от цезия-137.

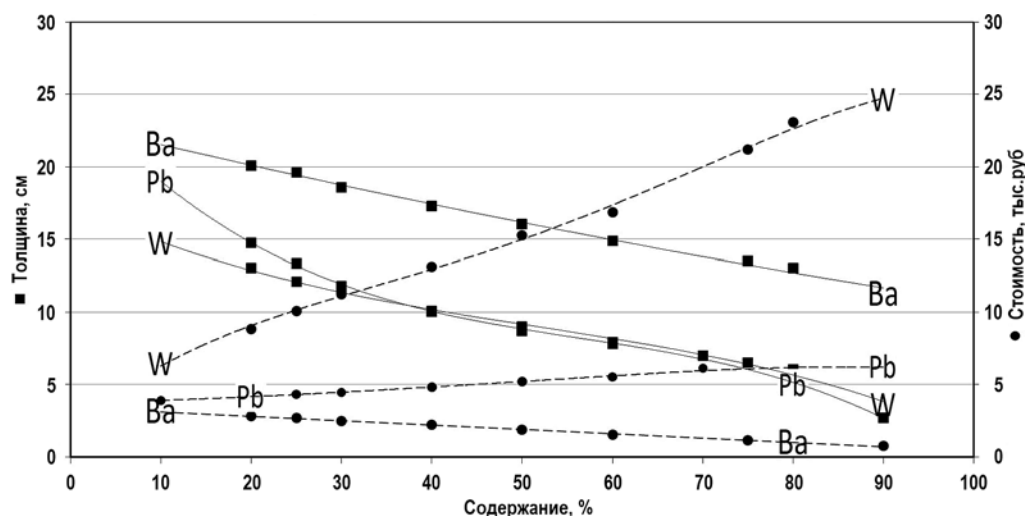


Рис. 3. Зависимости толщины и стоимости РЗМ от концентрации наполнителей (барита, свинца и вольфрама), обеспечивающих пятикратное ослабление мощности дозы излучения, создаваемого ^{137}Cs

ВЫВОДЫ

1. Проектирование состава гомогенных РЗМ имеет значительный потенциал в реализации принципа оптимизации радиационной защиты.
2. Как следует из сравнения результатов проведенного исследования коэффициентов ослабления мощности дозы γ -излучения гомогенными защитными материалами марки Абрис в зависимости от состава и толщины, отличие экспериментальных данных от значений, полученных расчетным методом, не превышает 5%.
3. Технология производства гомогенных РЗМ типа Абрис позволяет обеспечивать требуемые защитные свойства для конкретных условий облучения (состава радиоактивных загрязнений).

Работа выполнена при частичной поддержке Гранта РФФИ 13-08-00643.

Литература

1. 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
2. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Булатов В.И., Шастин А.Г. О проблеме снижения дозовых затрат персонала АЭС // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2011. – №1. – С.55-60.
3. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Хомяков А.П., Русских И.М., Селезнев Е.Н. Экспериментальное исследование защит от гамма-излучения органо-металлических композиций // Глобальная ядерная безопасность. 2015. № 2 (15). С. 49-55.
4. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Хомяков А.П., Русских И.М., Селезнев Е.Н. Расчетно-экспериментальное исследование гомогенных защит от гамма-излучения органометаллических композиций // Ядерная и радиационная безопасность. № 3 (77). 2015. С. 17-24.
5. Оптимизация радиационной защиты при контроле облучения персонала/ Серия докладов по безопасности, № 21. МАГАТЭ. Вена, 2003.
6. Русских И.М., Селезнев Е.Н., Козлов А.В., Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Лукьяненко В.Ю., Михайлова А.Ф. Исследование гомогенных защит от нейтронного излучения / Сб. тез. докл. XIV Международной конференции «Безопасность АЭС и подготовка кадров – 2015». Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2015. С. 263-266.

Поступила в редакцию 03.12.2015 г.

Авторы

Ташлыков Олег Леонидович, доцент, кандидат техн. наук

E-mail: otashlykov@list.ru

Щеклеин Сергей Евгеньевич, профессор, доктор техн. наук

E-mail: s.e.shcheklein@urfu.ru

Лукьяненко Вера Юрьевна, студентка

E-mail: vera-lukyanenko@mail.ru

Михайлова Алина Фёдоровна – студентка

E-mail: atomchiki@list.ru

Русских Иван Михайлович, главный инженер

E-mail: ivan_russkih1982@mail.ru

Селезнёв Евгений Николаевич, главный инженер

E-mail: evgenselez@mail.ru

Козлов Андрей Владиславович, ведущий инженер-физик

E-mail: t53031@mail.ru

UDC 621.039

THE OPTIMIZATION OF RADIATION PROTECTION COMPOSITION

Tashlykov O.L.*, Shcheklein S.E.*, Luk'yanenko V.Y.*, Mikhajlova A.F.*,
Russkikh I.M.**, Seleznyov E.N.**, Kozlov A.V.**

*Ural Federal University n.a. the first President of Russia B.N.Yeltsin
19, Mira st., Yekaterinburg, 620002 Russia

**JSC «Institute of Nuclear Materials»
Zarechny, Sverdlovsk reg., 624250, Russia

ABSTRACT

The aim of this work is to develop an algorithm of design of homogeneous composition of the radiation protective materials (RPM) for the optimization of radiation protection. Used for the investigation were the homogeneous radiation protective materials such as Abris, the production technology of which allows to obtain the desired concentration of fillers. The estimation of weakening ability of radiation protective material containing from 20 to 80% of barite, lead, tungsten, was carried out using high-precision calculation codes. To verify the results of calculations the experimental study of protective properties of Abris material with different concentrations of filling was carried out. Five sources of gamma radiation (^{60}Co , ^{58}Co , ^{198}Au , ^{54}Mn , ^{24}Na) with characteristic energies of radiation were produced in IVV-2M research reactor for the experiment. A specially designed experimental installation and measuring device DKS-AT1123 were used.

As a result of the research it was obtained the calculated dependency of radiation weakening coefficient for specific for different cases radioactive sources for the various compositions and thicknesses of the RPM. These data become initial for the optimization of radiation protection.

Conclusions.

1. The design of RPM of homogeneous composition has considerable potential in the implementation of the radiation protection optimization principle.

2. A comparison of the results of conducted studies of the gamma radiation dose weakening coefficient with homogeneous radiation protective materials of Abris RZ type depending on the composition and thickness showed that the difference between the experimental data and the values obtained by calculation does not exceed 5%.

3. The technology of production of Abris type homogeneous PRM allows to provide the required protective properties for the specific exposure conditions (composition of radioactive pollution).

Key words: radiation protection optimization, homogenous radiation protective material, frequency rate of weakening, research nuclear reactor.

REFERENCES

1. Russkikh I.M., Seleznev E.N., Tashlykov O.L., Shcheklein S.E. Eksperimentalno-teoreticheskoe issledovanie organometallicheskih radiacionno-zashhitnykh materialov, adaptirovannykh k istochnikam izlucheniya so slozhnym izotopnym sostavom [Experimental and theoretical research the organometallicheskih of the radiation protective materials adapted for radiation sources with difficult isotope structure]. *Yadernaya fizika i inzhiniring*. 2014, v. 5, no. 5, pp. 449–455 (in Russian).
2. Tashlykov O.L., Shcheklein S.E., Bulatov V.I., Shastin A.G. O probleme snizheniya dozovykh zatrat personala AES [About a problem of decrease in dose expenses of the NPP personnel]. *Izvestia vuzov. Yadernaya energetika*. 2011, no. 1, pp. 55–60 (in Russian).
3. Tashlykov O.L., Shcheklein S.E., Chomjakov A.P., Russkikh I.M., Seleznev E.N. Eksperimentalnoe issledovanie zashchit ot gamma-izlucheniya organometallicheskih kompozitsiy [Experimental Research Protection against Gamma Radiation of Organic and Metallic Compositions]. *Global'naya yadernaya bezopastost'*. 2015, no. 2 (15), pp. 49–55 (in Russian).
4. Tashlykov O.L., Shcheklein S.E., Chomjakov A.P., Russkikh I.M., Seleznev E.N. Raschyotno-eksperimentalnoe issledovanie gomogennykh zashchit ot gamma-izlucheniya [Numerical and experimental research of homogenous protection against gamma radiation]. *Yadernaya i radiacionnaya bezopastost'*. 2015, no. 3 (77), pp. 17–24 (in Russian).
5. The radiation protection optimization when personnel training monitoring. Safety Report Series, № 21. IAEA. Vienna, 2003.
6. Russkikh I.M., Seleznev E.N., Kozlov A. V., Tashlykov O.L., Shcheklein S.E., Lukyanenko V.Y., Mikhailova A.F. The investigation of homogeneous protection from neutron radiation // XIV International Conference «NPP Safety and Personell training – 2015»: Abstracts. Obrninsk. IATE NIYaU MIFI Publ. 2015, pp. 263–266 (in Russian).

Authors

Tashlykov Oleg Leonidovich, Associate professor, Cand. Sci. (Engineering)

E-mail: otashlykov@list.ru

Shcheklein Sergej Evgen'evich, Professor, Dr. Sci. (Engineering)

E-mail: s.e.shcheklein@urfu.ru

Luk'yanenko Vera Yur'evna, Student

E-mail: vera-lukyanenko@mail.ru

Mikhajlova Alina Fyodorovna, Student

E-mail: atomchiki@list.ru

Russkikh Ivan Mihajlovich, Chief Engineer

E-mail: ivan_russkikh1982@mail.ru

Seleznyov Evgenij Nikolaevich, Chief Engineer

E-mail: evgenselez@mail.ru

Kozlov Andrej Vladislavovich, Leading Engineer-Physicist

E-mail: t53031@mail.ru