

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ИЗМЕРЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ГЕРМЕТИЧНОГО ОГРАЖДЕНИЯ

Алексеев Александр Григорьевич
старший научный сотрудник,
«НИЦ Курчатовский институт»-ИФВЭ, г.Протвино
Пикалов Владимир Александрович
Ведущий инженер
«НИЦ Курчатовский институт»-ИФВЭ, г.Протвино
Алексеев Павел Александрович
старший научный сотрудник, к.т.н
АО «ГНЦ РФ-ФЭИ», г.Обнинск

INVESTIGATION OF THE EFFECTIVENESS OF RADIATION SHIELDING OF ELEMENTS OF THE SAFETY CONTAINMENT SYSTEMS

Alexeev A.G.
Pikalov V.A.
NRC «Kurchatov Institute» – IHER
Alexeev P.A.
JSC "SSC RF – IPPE"

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2022.1.97.1651

АННОТАЦИЯ

Приведена методика измерения кратности ослабления гамма-квантов элементами системы герметичного ограждения АЭС типа ВВЭР, доработанная по результатам измерений, выполненных на Ростовской АЭС. Приведены результаты измерений, полученные при пуске Белорусской АЭС. Показано, что Ленинградская АЭС-2 является референтной в части биологической защиты для Белорусской АЭС.

ABSTRACT

A Method for measuring the attenuation ratio of gamma radiation by the elements of the safety containment system of VVER-type NPPs, which was developed based on the results of studies carried out at the Rostov NPP, is presented. The results of measurements obtained during the start-up of the Belarusian NPP are presented. It is shown that the Leningrad NPP-2 is a reference in terms of radiation shielding for the Belarusian NPP.

Ключевые слова: фотоны, биологическая защита, локализующие системы безопасности, АЭС
Keywords: gamma radiation, dosimeter, radiation shielding, safety containment systems of NNP

ВВЕДЕНИЕ

Системы безопасности современных АЭС можно разделить на четыре группы: защитные, локализующие, управляющие и обеспечивающие. Локализирующие системы безопасности (ЛСБ) (или система герметичного ограждения) это системы (элементы), предназначенные для предотвращения или ограничения распространения выделяющихся при авариях радиоактивных веществ и излучений за установленные проектом границы и выхода их в окружающую среду. Локализирующая система безопасности АЭС включает в себя защитную оболочку для ядерного (энергетического) реактора, оснащенную пассивными и активными конденсаторами, спринклерными и аварийными вентиляционными устройствами, транспортными трубопроводами с необходимой трубопроводной арматурой.

ЛСБ и их элементы должны проходить проверку на соответствие проектным показателям при вводе в эксплуатацию, после ремонта и периодически в течение всего срока службы блока АЭС. Нормативный документ [1] предусматривает, что испытания биологической защиты ЛСБ (элементов ЛСБ) необходимо проводить при вводе

блока АЭС в эксплуатацию. Испытанию биологической защиты подлежат следующие участки герметичного ограждения (ГО): места расположения дверей, люков, шлюзов и проходок; места возможного нахождения персонала (при нормальной эксплуатации, во время аварий и после них) с наружной стороны ГО.

Для реализации требования проведения испытаний биологической защиты ЛСБ авторами была разработана методика, которая прошла апробацию при пуске ряда новых энергоблоков ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200.

В данной работе рассмотрены методические особенности испытаний биологической защиты ЛСБ, способ реализации, результаты испытаний при пуске 1-го и 2-го энергоблоков Белорусской АЭС.

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ

В качестве меры эффективности биологической защиты таких элементов ЛСБ, как защитная бетонная оболочка (ЗО), двери шлюзов для персонала и транспортного шлюза, трубопроводные и кабельные проходки, в проектах АЭС (например [2]) выбрана кратность ослабления гамма квантов радионуклидного источника 60-

кобальт. Средняя энергия гамма квантов этого источника составляет 1,25 МэВ.

В зависимости от элемента ЛСБ кратность ослабления им гамма квантов ^{60}Co может варьироваться от 5 до $2 \cdot 10^5$, т.е. необходимо применять радионуклидный источник высокой активности.

При использовании такого высокоактивного источника ^{60}Co в условиях пуско-наладочных работ (в период, когда выполняется данный вид испытаний биологической защиты ЛСБ), требуются значительные организационные мероприятия, связанные с радиационной безопасностью проведения работы. Как показал опыт работ при пуске 3го энергоблока Ростовской АЭС, это сказывается на качестве и сроках

выполнения данного испытания. Учитывая это, при пуске 4-го энергоблока Ростовской АЭС, был разработан метод определения кратности ослабления с использованием радионуклидного источника ^{192}Ir . С одной стороны, спектр ^{192}Ir является сложным и состоит из 17 линий различной интенсивности с энергиями в пределах 0,063-0,8845 МэВ. Средняя энергия спектра равна 0,359 МэВ. На рисунке 1, приведен спектр гамма квантов радионуклида ^{192}Ir . С другой стороны, данный радионуклид используется для неразрушающего контроля сварных швов при монтажных работах на АЭС, а переносные устройства типа ГАМАРИД 120/92 позволяют использовать источники с большой активностью - до 120 Ки.

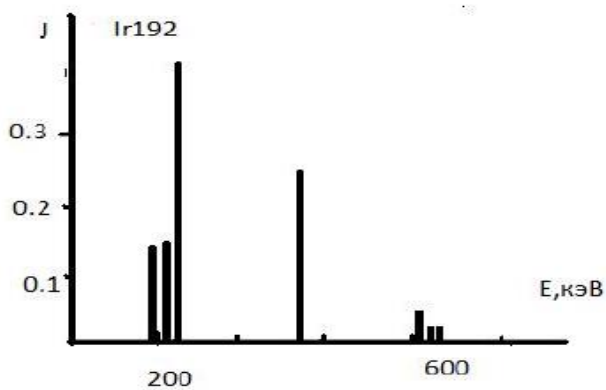


Рисунок 1 – Спектр гамма квантов радионуклида ^{192}Ir

Спектр иридиевого источника жесткого излучения

Методика определения кратности ослабления основана на измерении мощности AMBIENTного эквивалента дозы (МАЭД) $H_0^*(10)$ от источника в отсутствие защиты между источником и дозиметром и измерении $H_1^*(10)$ на том же расстоянии R (источник-детектор), когда между источником и детектором находится элемент ЛСБ. Кратность ослабления определяется отношением:

$$K_{Ir} = \frac{H_0^*(10)}{H_1^*(10)}$$

При расчете кратности ослабления гамма-квантов ^{60}Co используется параметр d

$$k_{Co} = d \times K_{Ir}$$

Параметр d зависит от конструкции ЛСБ (материал защиты, толщины защиты и др.). Были выполнены расчеты данного параметра для конкретных типов элементов ЛСБ с использованием метода Монте-Карло по программе MCNP[3].

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Система герметичного ограждения (СГО) состоит из ряда элементов, для которых

предусматривается проверка эффективности биологической защиты:

А) Герметичное ограждение (ГО) – железобетонное ограждение для энергоблоков ВВЭР-1200 состоит из внутренней защитной оболочки и внешней защитной оболочки. Толщина внутренней оболочки составляет 120 см, дополнительно внутренняя часть облицована сталью. Толщина внешней оболочки составляет 80 см бетона. На рисунке 2 приведены расчеты кратности ослабления в бетоне для ^{192}Ir и ^{60}Co (средняя энергия гамма-квантов составляет 1,25 МэВ), так же приведены данные из работы [4]. Можно отметить хорошее согласие результатов расчетов данной работы и [4].

Б) Шлюз для персонала и транспортный шлюз имеют сложную геометрию для определения эффективности биологической защиты шлюза как цельного элемента, поэтому в проектной документации регламентируется кратность ослабления только защитных дверей шлюза. На рисунке 4 представлена конструкция шлюза для персонала. На рисунке 5 приведены расчеты кратности ослабления гамма-квантов с энергией 1,25 МэВ (^{60}Co) и ^{192}Ir , для сравнения приведены данные из [4]. Наблюдается хорошее согласие данных для энергии 1,25 МэВ.

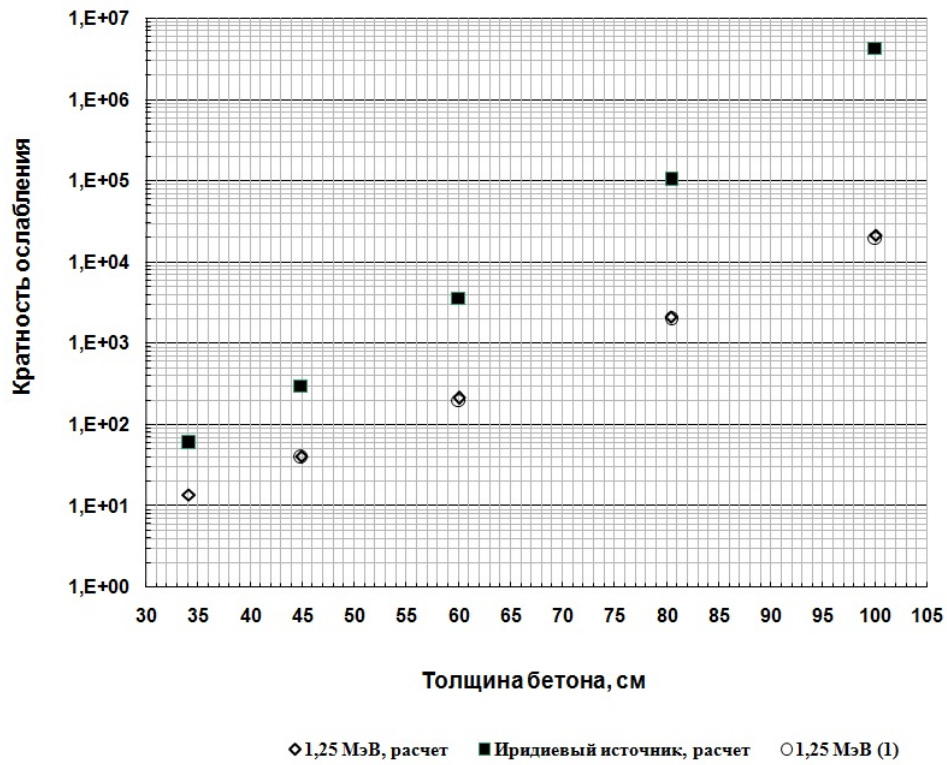


Рисунок 2 – Расчет кратности ослабления для бетона: 1,25 МэВ расчет, 1,25 МэВ (1) – данные [4], 192Ir расчёт

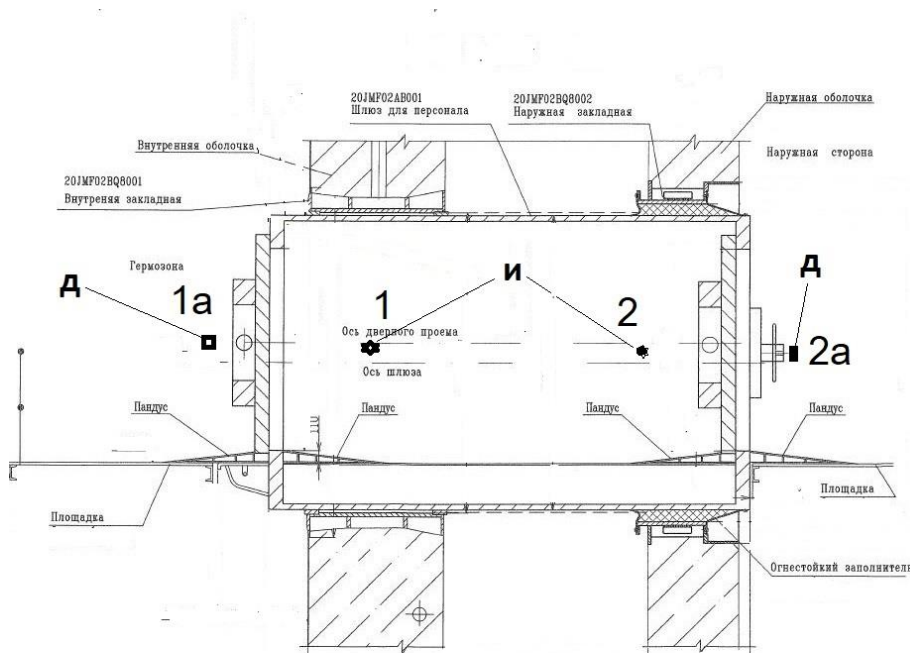


Рисунок 4 – Шлюз для персонала; д – точки измерения; и – места положения источника 192 Ir, при проведении измерений.

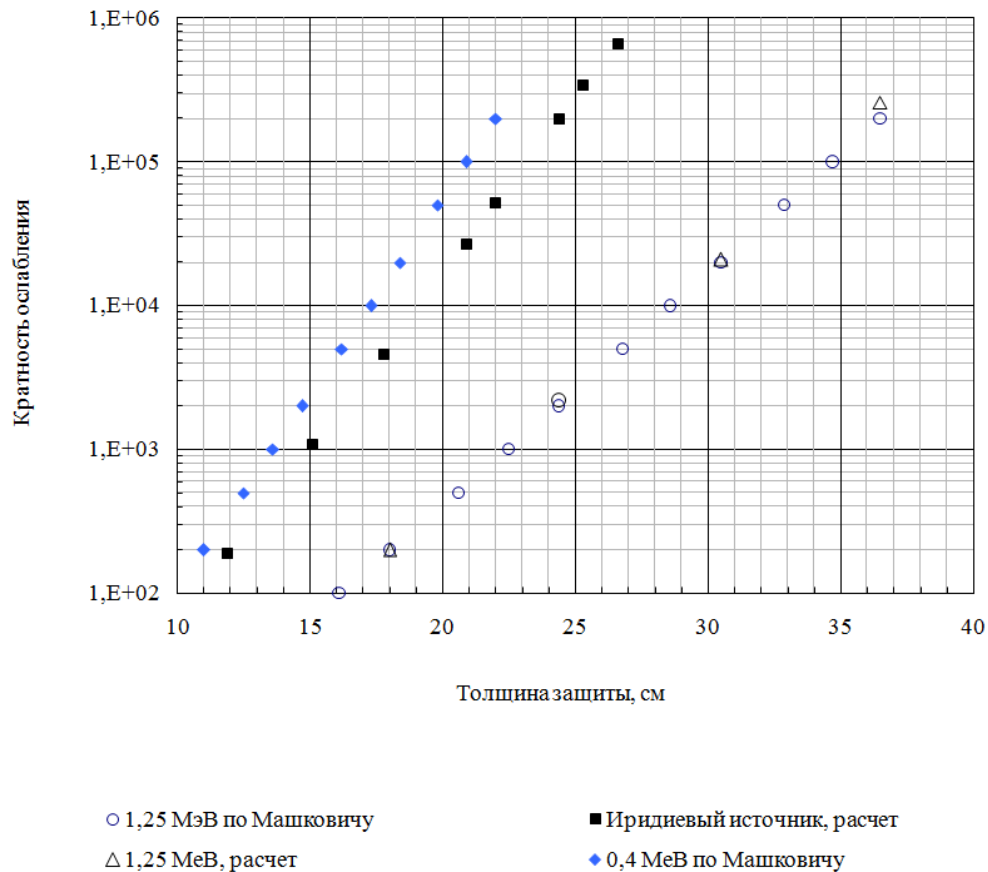


Рисунок 5 – Кратность ослабления гамма-квантов с энергией 1,25 МэВ, 0,4 МэВ и ^{192}Ir в железе; расчет и данные работы [4].

В) Трубопроводные проходки различаются по типам (в том числе по диаметру). На рисунке 6

приведены два типа проходок (в том числе контрольно-измерительные КИП).

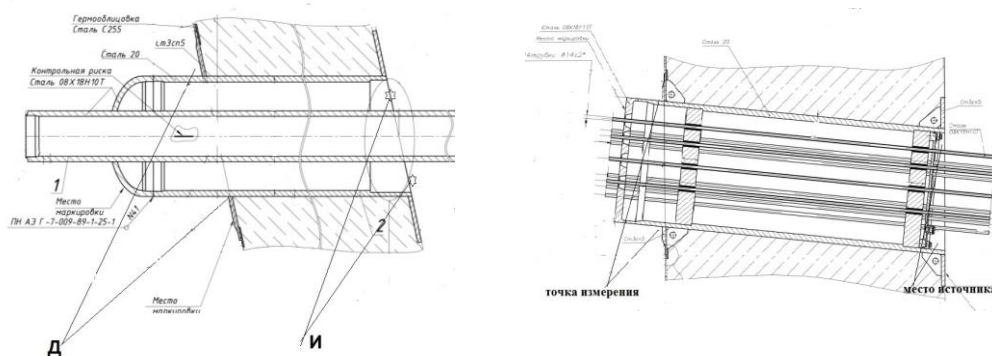


Рисунок 6 – Трубопроводные проходки. Д-точка измерения, И- положение источника.

Для каждого типа выполнен расчет кратности ослабления и коэффициенты d .

Г) Кабельные сигнальные и силовые проходки так же имеют несколько типов. Следует отметить,

что кабельные проходки установленные на ВВЭР-1000 отличаются от установленных на ВВЭР-1200. Для них так же были выполнены расчеты кратности ослабления.

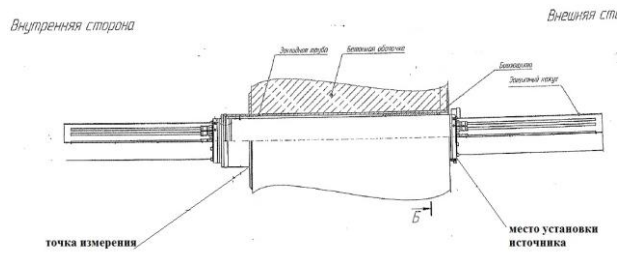


Рисунок 7 – Кабельная проходка.

Надо отметить, что производители кабельных проходок гарантируют кратность ослабления такую же, как бетонная защита, в которую они вставлены. Однако проведенные авторами измерения (на Ростовской АЭС, Нововоронежской АЭС-2) показывают, что реально кратность ослабления кабельных проходок существенно ниже, проектанты это было учтено, и в более поздних проектах АЭС заложены существенно менее жесткие требования в кратности ослабления кабельных проходок.

Следует отметить, что для разных проектов АЭС конструкция и типы элементов ЛСБ отличаются и соответственно меняется параметр d (в зависимости от конструкции применяемых элементов).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для измерения МАЭД (кроме измерений кратности ослабления внутренней оболочки ГО)

использовался дозиметр ДКС-АТ1121. В измерениях внутренней оболочки применялся сцинтилляционный гамма-спектрометр УДС-ГЦА-63х63-RS/ВТ1. Метод использования сцинтилляционного гамма-спектрометра для измерения кратности ослабления описан ранее в работе [5].

На рисунках 8а и 8б приведена геометрия измерения для внутренней и внешней оболочек. Для измерений внешней оболочки источник помещался снаружи оболочки (между стеной здания и внешней оболочкой), измерения выполнялись в межоболочечном пространстве. Для измерений внутренней оболочки источник помещался в межоболочечном пространстве, измерения выполнялись в гермообъеме. На рисунках 9а и 9б приведены результаты измерения с помощью гамма-спектрометра.

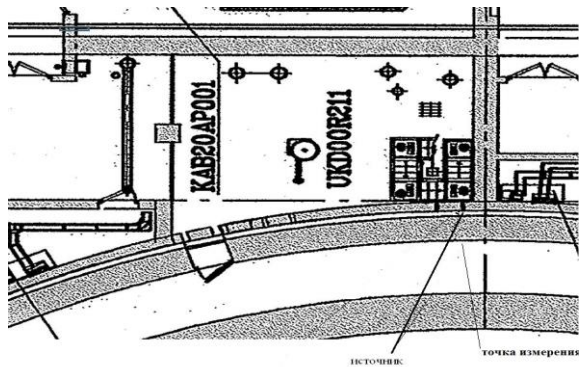


Рисунок 8а – Схема расположения источника и точек измерения для внешней оболочки. Источник помещался в проем между стеной здания 10UKD и внешней ЗО. Измерения выполнялись в межоболочечном пространстве.

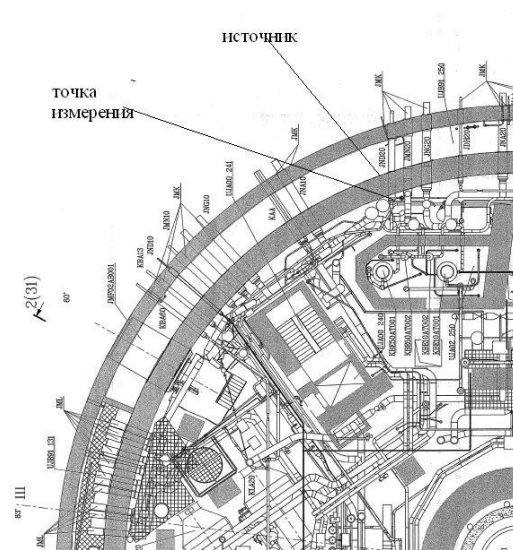


Рисунок 8б – Схема расположения источника и точек измерения. Источник помещался в межоболочечном пространстве. Измерения выполнялись в гермообъеме.

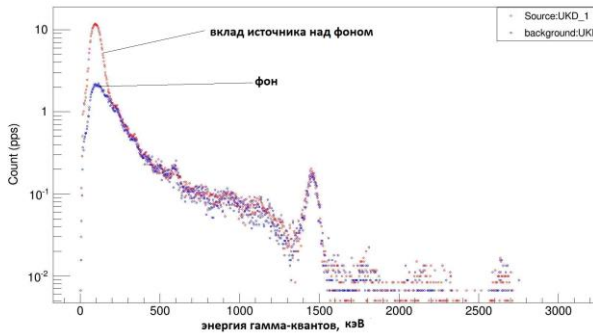


Рисунок 9а – Спектр гамма квантов (имп/с).
Измерение внешней защитной оболочки.

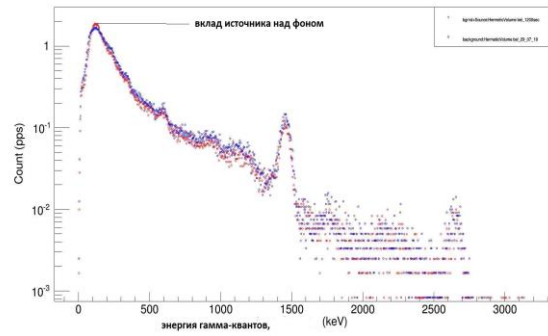


Рисунок 9б – Спектр гамма квантов (имп/с).
Измерение внутренней защитной оболочки

В таблице 1 приведены результаты измерения кратности ослабления гамма квантов точечного источника излучения ^{60}Co (энергией гамма-излучения 1,17 и 1,33 МэВ) для элементов СГО и значения кратности ослабления, заложенные в проектах. Измерения проводились с использованием высокоактивного источника ^{192}Ir с последующим пересчётом на энергию гамма квантов источника ^{60}Co . Представлены результаты для 2го энергоблока Ленинградской АЭС-2 (результаты измерений на 1м энергоблоке

ЛАЭС-2 близки по своим значениям к результатам 2го энергоблока), 1 и 2го энергоблоков Белорусской АЭС. Ленинградская АЭС-2 считается референтной для Белорусской АЭС. «Не менее» – означает, что из всей совокупности элементов (количество герметичных кабельных проходок несколько сотен) выбрана минимальная измеренная величина. По результатам испытаний для всех элементов кратность ослабления больше величины, заложенной в проекте.

Таблица 1

Результаты испытаний эффективности биологической защиты элементов СГО на 2м энергоблоке Ленинградской АЭС-2, на 1 и 2м энергоблоках Белорусской АЭС

Кратность ослабления мощности дозы ионизирующего излучения (точечный источник излучения ^{60}Co с энергией гамма-излучения 1,17 и 1,33 МэВ)	2й энергоблок ЛАЭС-2	1й энергоблок БелАЭС	2й энергоблок БелАЭС	Проектные данные
внутренняя оболочка	-*	$2,55 \cdot 10^5$	$2,9 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^5$
дверей шлюза транспортного	5,79	4,06	3,75	3
двери шлюза для персонала	$4,88 \cdot 10^{-3}$	$1,75 \cdot 10^{-3}$	$1,05 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$
герметичные кабельные проходки	Не менее $1,02 \cdot 10^3$	не менее $1,344 \cdot 10^3$	Не менее $8,4 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^2$
Трубопроводные проходки	Не менее 43	не менее 25	не менее 18	не менее 5

-* измерения не проводились.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опыт проведения проверки эффективности биологической защиты элементов системы герметичного ограждения, полученный при пуске 3 и 4 го энергоблока Ростовской АЭС и 1 и 2го энергоблоков Новоронежской АЭС-2 был перенесен и использован при пуске ЛАЭС-2 и Белорусской АЭС.

Результаты подтвердили, что в части биологической защиты системы герметичного ограждения ЛАЭС-2 является референтной для Белорусской АЭС. Разработанная методика измерений [6] может применяться для других проектов АЭС.

Работы выполнялась в рамках договоров между АО «АтомТехЭнерго» и ООО «АтомПромИнжиниринг» при личном участии Генерального директора А.Ю.Соколова, в измерениях так же участвовали Н.Н.Бараненков, А.А. Степанов.

ССЫЛКИ

- 1.Правила устройства и эксплуатации локализирующих систем безопасности атомных станций (НП-010-16) М.2016г.
- 2.«Окончательный отчет по обоснованию безопасности» Белорусская АЭС Блок 1. Глава 12 Системы безопасности. BLR1.P.110.1.120204.0.2&&.021.HD.0001.
- 3.MCNP – General Monte Carlo N-Particle Transport code. LA-12625-M, Vers. 4B, 1997.
- 4.Машкович В.П., Кудрявцева А.В. Защита от ионизирующих излучений: Справочник – 4-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 496 с..
- 5.А.Г.Алексеев, П.А.Алексеев, А.А.Янович/ Использование гамма-спектрометра при проверке эффективности биологической защиты.// Журнал: Евразийский Союз Ученых. 2019. №63 т.1 стр. 8-13. <https://euroasia-science.ru/pdf-arxiv/8-13-alekseev-a-g-alekseev-p-a-yanovich-a-a-gamma-spectrometer-for-the-testing-of-radiation-shielding>.

6. Методика измерения кратности ослабления мощности дозы гамма излучения биологической

защитой элементов локализирующих систем СТО № 81632696-0001-2015. ООО «АПИ».

УДК 623.7.396.383

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В ЗАДАЧАХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ АНТЕННОЙ РЕШЁТКИ

Ларин В.П.

доктор технических наук, профессор

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,
Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 67*

SYSTEM ANALYSIS IN THE PROBLEMS OF TECHNOLOGICAL DESIGN OF STRUCTURES OF OPTOELECTRONIC MODULES OF THE ANTENNA ARRAY

V.P. Larin

Doctor of Technical Sciences, Professor

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

АННОТАЦИЯ

Изложены материалы с решением задач, связанных с технологическим проектированием элементов интегральной оптики ждя использования в оптико-электрических приёмо-передающих модулях активных антенных решёток бортовых РЛС.. Их применение позволяет значительно улучшить функциональные и массогабаритные характеристики РЛС. Рассмотрены технологические операции, необходимые для получения полимерных световодов, заглубленных в поверхность диэлектрической подложки. Выполнен анализ обеспечения минимальных светопотерь и помех при передаче световой волны по полимерному световоду. Изложена последовательность выполнения технологических операций по предлагаемому варианту наноимпринтинга, как способа получения встроенных полимерных световодов.

ABSTRACT

The materials with the solution of problems related to the technological design of integral optics elements are presented, waiting for the use of active antenna arrays of on-board radars in the optiko-electric transceiver modules. Their use can significantly improve the functional and weight and size characteristics of the radar. The technological operations necessary for the production of polymer light guides buried in the surface of the dielectric substrate are considered. The analysis of ensuring minimal light losses and interference during the transmission of a light wave along a polymer light guide is carried out. The sequence of technological operations on the proposed version of nanoimprinting, as a method for obtaining embedded polymer light guides, is described.

Ключевые слова: оптико-электронный модуль, полимерный заглубленный световод, технология изготовления, наноимпринтинг, уменьшение светопотерь

Keywords: optiko-electric modules, polymer light guides, manufacturing technology, nanoimprinting, reduction of light loss.

Введение. В современных системах радиолокации, радионавигации и радиоэлектронного противодействия широко используются активные фазированные антенные решётки. Основу конструкции антенны составляет множество приемо-передающих модулей (ППМ), размещенных в полотне антенной решётки [2]. Конструкторско-технологическое развитие антенных решёток и ППМ идет в направлениях создания планарных конструкций с оптико-электронным и электронно-оптическим построением схем передающих и приемных каналов ППМ. Использование принципов фотоники и интегральной оптики для реализации схем и конструкций таких модулей имеет огромное значение для всех конструктивных уровней радиолокационной системы (РЛС).

В интегральной оптике конструктивной основой многих устройств является планарный (двумерный) оптический световод. При проектировании устройств интегральной оптики

приходится решать две основные группы взаимосвязанных задач: конструирования оптических элементов и технологической реализации этих элементов. Задачи нуждаются в проведении системного анализа, необходимого для формирования точной постановки и содержания задач и эффективного их решения.

Процесс системного анализа рассмотрим на примере поиска возможных решений для проектирования планарных канальных световодов в конструктивном варианте заглубленного исполнения. Планарный световод представляет собой плоский диэлектрический элемент, расположенный на диэлектрической подложке. Планарные полимерные световоды в настоящее время находят всё большее применение в устройствах передачи оптических сигналов, в том числе в канальной заглубленной конструктивной форме [1,3]. Основу пленочного световода (рис. 1) составляет диэлектрическая пленка с параметрами $\epsilon_{\text{пл}}$, μ_0 , выращенная на диэлектрической подложке