

## ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ОБЛУЧАТЕЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ГАММА-УСТАНОВКИ

Е. И. Валекжанина, С. А. Демьянов, С. А. Картанов, А. В. Машагин,  
П. В. Опёнышев, К. Г. Плужян, К. А. Попикова

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 607188, г. Саров Нижегородской обл.

Статья поступила в редакцию 08.07.2022, после доработки – 15.07.2022, принята к публикации – 20.09.2022

Для обеспечения испытаний электронной компонентной базы (ЭКБ) на стойкость к воздействию ионизирующего излучения космического пространства в ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» ведутся работы по созданию синхротронного комплекса. Одной из установок комплекса является гамма-установка (ГУ) на основе закрытого радионуклидного источника (ЗРИ)  $^{60}\text{Co}$ . Данная установка разрабатывается в двух конструктивных исполнениях: низкой и средней интенсивностей.

В работе представлены результаты расчета мощности дозы на расстоянии 1 м от составных частей ГУ и за стеной зала дозовых облучений. Рассчитана карта радиационных полей в зале дозовых облучений.

Приведены результаты расчета пространственного распределения мощности дозы и неоднородности поля излучения в предполагаемом месте расположения ЭКБ.

**Ключевые слова:** гамма-установка, радиационная безопасность, облучательные возможности.

**Investigations of gamma-ray unit of radiation safety and irradiation potentialities.** Ye. I. Valekzhanina, S. A. Dem'yanov, S. A. Kartanov, A. V. Mashagin, P. V. Openyshev, K. G. Pluzyan, K. A. Popikova (FSUE «RFNC-VNIIEF», 607188, Sarov, Nizhny Novgorod region, Mira ave., 37). To provide resistance testing of electronic component base (ECB) against the effect of cosmic space ionizing radiation there are carried out in FSUE «RFNC-VNIIEF» the works on creating a synchrotron complex. One of its facilities is gamma-ray unit (GRU) on the base of  $^{60}\text{Co}$  sealed radioactive source (SRS). This facility is being developed in two embodiments: of low and average intensities.

The paper presents the results of dose rate calculation at a 1-meter distance from the GRU components and behind the walls of the dose irradiation hall. The chart of radiation fields in the dose irradiation hall is calculated.

There are presented the calculation results of space distribution of dose rate and radiation field non-uniformity in the assumed place of ECB arrangement.

**Key words:** gamma-radiation unit, radiation safety, irradiation resource.

DOI 10.53403/02054671\_2022\_3\_78

### Введение

ГУ на основе закрытых изотопных источников является составной частью синхротронного комплекса, предназначенного для обеспечения испытаний ЭКБ на стойкость к действию ионизирующих излу-

ний космического пространства. ГУ предназначена для проведения испытаний изделий ЭКБ на дозовое воздействие при низкой (0,01–10 Р/с) и средней (10–300 Р/с) интенсивности  $\gamma$ -излучения космического пространства (далее ГУ СИ и ГУ НИ).

В качестве источника  $\gamma$ -излучения планируется использовать 6 ЗРИ на основе  $^{60}\text{Co}$  типа ГИК-9-4, произведенных ФГУП «ПО "МАЯК"». Источник ГИК-9-4 представляет собой двойную капсулу из коррозионно-стойкой стали с активной частью (рис. 1).

Суммарная активность источников излучения для ГУ средней интенсивности составит  $\approx 54$  кКи. Период полураспада  $^{60}\text{Co}$  – 5,27 лет [1]. По истечении 5 лет эксплуатации, когда активность источников уменьшится в два раза, в ГУ СИ будет проводиться замена источников на новые. Отработавшие в ГУ СИ источники будут перемещены в ГУ НИ, их суммарная активность на момент перемещения составит  $\approx 28$  кКи. Таким образом, каждые 5 лет будет обеспечено обновление источников в обеих ГУ.

ГУ располагается в зале дозовых облучений согласно рис. 2.

Для обоснования радиационной безопасности ГУ СИ проведены расчеты мощности эквивалентной дозы на расстоянии 1 м от составных частей установки в исходном положении, а также за стеной напротив ЗРИ в рабочем положении (исходное и рабочее положения установки представлены в следующем разделе). Поскольку устройство ГУ СИ и ГУ НИ одинаково, а также залы дозовых облучений идентичны, то результаты, полученные для ГУ СИ, могут быть использованы для обоснования безопасности ГУ НИ.

При проведении испытаний ЭКБ на дозовое воздействие необходимы знания о распределении мощности дозы. С этой целью проведены расчеты пространственного распределения мощности экспозиционной дозы и неоднородности поля излучения в предполагаемой области расположения ЭКБ.

Расчеты проведены в программном комплексе С-007 [2], предназначенном для моделирования переноса нейтронов,  $\gamma$ -квантов, электронов и позитронов методом Монте-Карло в трехмерной геометрии.

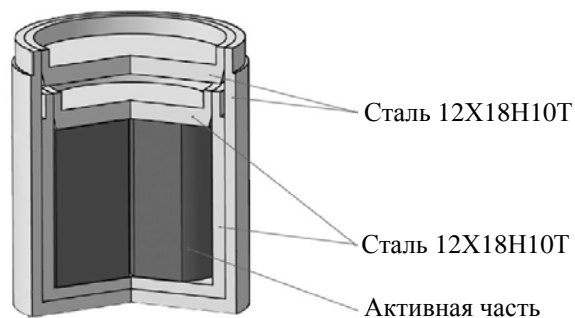


Рис. 1. Источник ионизирующего излучения типа ГИК-9-4

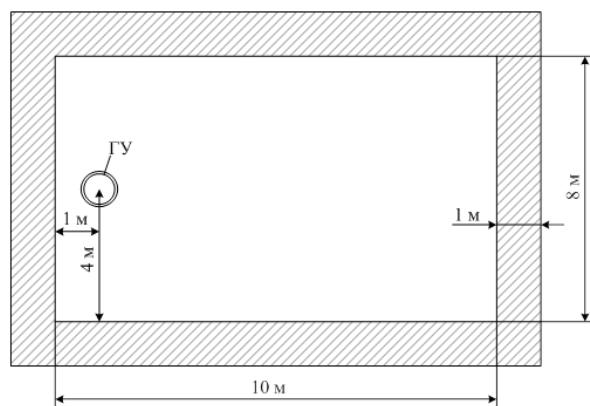


Рис. 2. Схема расположения ГУ в зале дозовых облучений (вид сверху)

## Описание ГУ

ГУ средней и низкой интенсивности имеют одинаковое устройство. В общем виде ГУ состоит из следующих элементов:

- источника ионизирующего излучения;
- блока защиты;
- стенда электромеханического;
- автоматизированной системы управления и контроля ГУ.

ЗРИ размещены определенным образом внутри кассеты, внешний вид которой представлен на рис. 3.

В качестве блока защиты используется контейнер защитный КТ1-160000/4300, разработанный и применяемый в ФГУП «ПО "Маяк"», из состава комплекта упаковочного транспортного УКТ1В-160000/4300 [3].

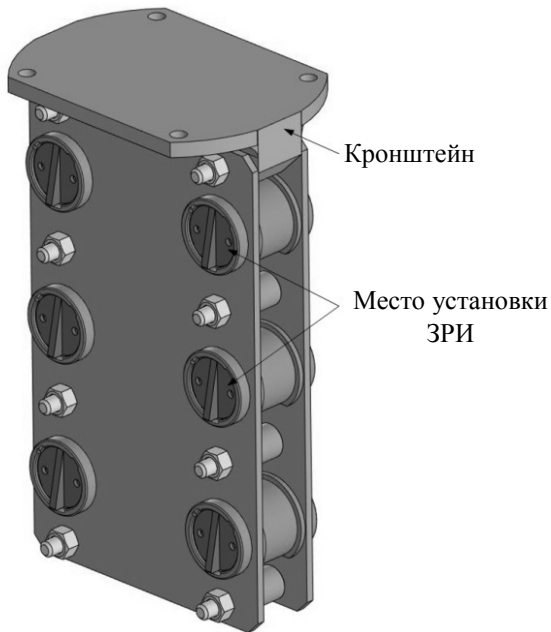


Рис. 3. Кассета с ЗРИ

Контейнер защитный КТИ-160000/4300 представляет собой металлоконструкцию, состоящую из пробки и контейнера (рис. 4). Пробка 1 крепится к контейнеру 2 с помощью восьми гаек.

Пробка 1 представляет собой сварную герметичную конструкцию, состоящую из крышки со стаканом и радиационной за-

щиты, находящейся внутри. Сверху крышки имеется строповое устройство для извлечения пробки из контейнера и установки ее обратно.

Контейнер 2 представляет собой сварной герметичный цилиндр, состоящий из внешней облицовки, радиационной защиты и внутреннего стакана (гнезда контейнера). На внешней облицовке имеются четыре ребра с отверстиями, предназначенные для захвата контейнера грузоподъемными механизмами.

Стенд электромеханический представляет собой рамную конструкцию с установленным на ней приводом перемещения источника. На рис. 5 представлен общий вид ГУ в закрытом и рабочем положениях. Пробка 1 с закрепленной на ней кассетой соединена жесткой связью с приводом перемещения источника, за счет которого имеет возможность вертикального перемещения соосно контейнеру на высоту не менее 500 мм. В дальнейшем изложении под «пробкой» будет подразумеваться узел ГУ, состоящий из следующих связанных элементов: пробки, кассеты и ЗРИ.

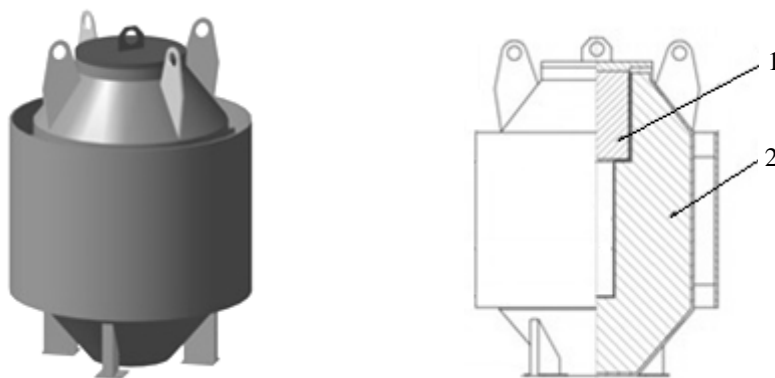


Рис. 4. Общий вид контейнера защитного КТИ-160000/4300:  
1 – пробка, 2 – контейнер

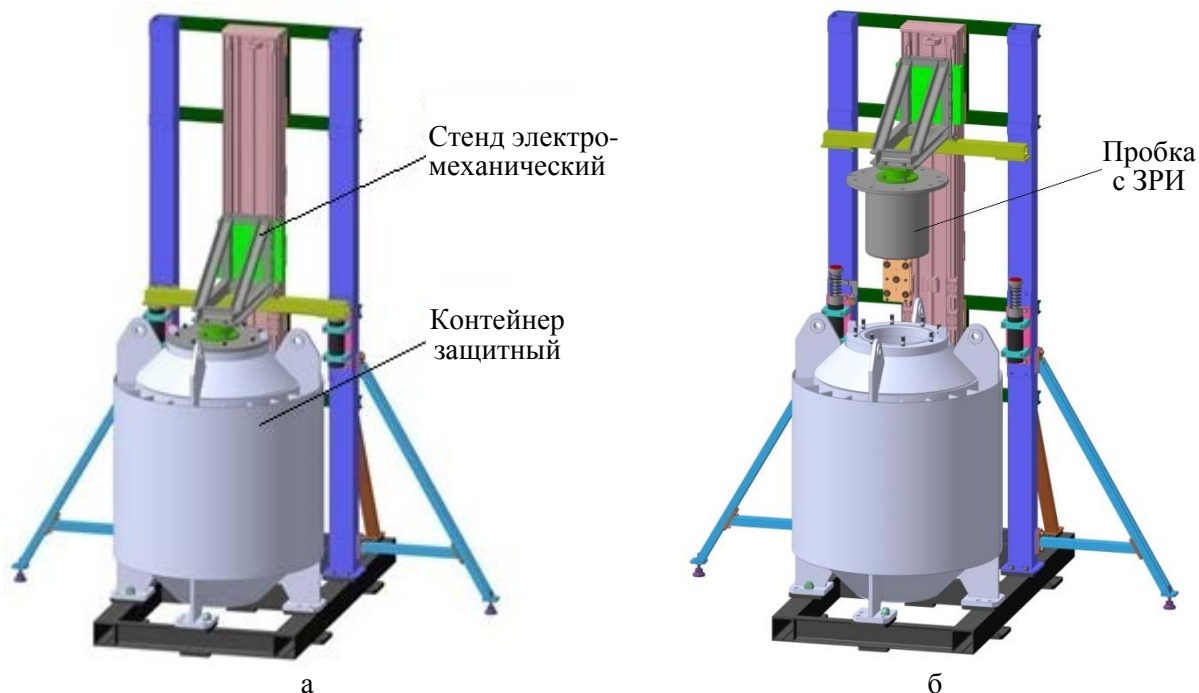


Рис. 5. Общий вид ГУ в исходном (а) и рабочем (б) положениях

В исходном положении ГУ пробка плотно прилегает к верхней плоскости контейнера (рис. 5,а). В рабочем положении ГУ пробка смещена на высоту 150 см от уровня пола (рис. 5,б).

### Результаты расчетов по обоснованию радиационной безопасности ГУ СИ

Результаты расчета мощности эквивалентной и экспозиционной доз для исходного положения ГУ СИ, при котором кассета с шестью ЗРИ располагается в гнезде контейнера, а пробка плотно прилегает к верхней плоскости контейнера, представлены в таблице.

Рассчитанные значения мощности эквивалентной дозы на расстоянии 100 см от поверхности контейнера КТИ-160000/4300 при загрузке в него  $\approx 54$  кКи изотопа  $^{60}\text{Co}$  удовлетворяют требованию п. 3.7.6 ОСПОРБ 99/2010 для стационарных установок, действие которых основано на использовании ЗРИ (не более 20 мкЗв/ч).

### Мощность дозы от ГУ СИ

	Поверхность контейнера			1 м от поверхности контейнера	
	верх	бок	дно	верх	бок
Мощность эквивалентной дозы, мкЗв/ч	41,9	155,1	3,9	11,2	9,4

Проведен расчет распределения мощности экспозиционной дозы в облучательном зале при рабочем положении установки. Для примера на рис. 6 представлено распределение мощности экспозиционной дозы в горизонтальной плоскости на уровне расположения центральных ЗРИ. Для удобства визуализации распределение представлено в виде приведенного десятичного логарифма от мощности дозы.

Для оценки безопасности персонала группы А за стенами облучательного зала ГУ СИ проведена оценка кратности ослабления дозы  $\gamma$ -излучения моделированием в С-007[2]. При расчетах толщина стен принималась равной 100 см.

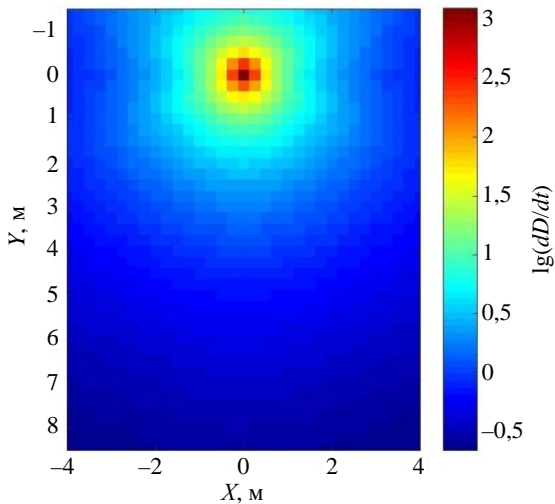


Рис. 6. Распределение мощности экспозиционной дозы в облучательном зале на высоте расположения центральных ЗРИ в рабочем положении ГУ СИ

Для определения кратности ослабления  $\gamma$ -излучения в бетонной стене с помощью моделирования проведен расчет мощности дозы за ближайшей стеной на высоте кассеты с ЗРИ при рабочем положении ГУ и на таком же расстоянии от источника без стены. Мощность эквивалентной дозы без стены составила 64 Зв/ч, за стеной – 3 мЗв/ч. Таким образом, кратность ослабления –  $2,1 \cdot 10^4$ .

Согласно требованиям НРБ-99/2009, мощность эквивалентной дозы за стеной

помещения с установкой для персонала группы А должна быть не более 11 мкЗв/ч. Для стены толщиной 100 см мощность эквивалентной дозы за стеной превышает разрешенное значение в 272 раза. По предварительным оценкам, для удовлетворения требованиям НРБ-99/2009 толщина стены из обычного бетона должна быть не менее 150 см.

### Результаты расчета пространственного распределения мощности экспозиционной дозы и неравномерности поля излучения ГУ СИ

Расчет пространственного распределения мощности экспозиционной дозы и неоднородности поля излучения ГУ СИ проведен в расчетной области, расположенной согласно рис. 7. Расчетная область размерами  $100 \times 100 \times 110$  см разбита плоскостями с шагом 10 см.

Результаты расчета пространственного распределения мощности экспозиционной дозы на расстояниях 10, 20, 50 и 100 см с указанием ее максимального значения представлены на рис. 8. Поскольку мощность дозы вычислялась в воздухе, в области расположения защитного контейнера и пробки – нулевые значения.

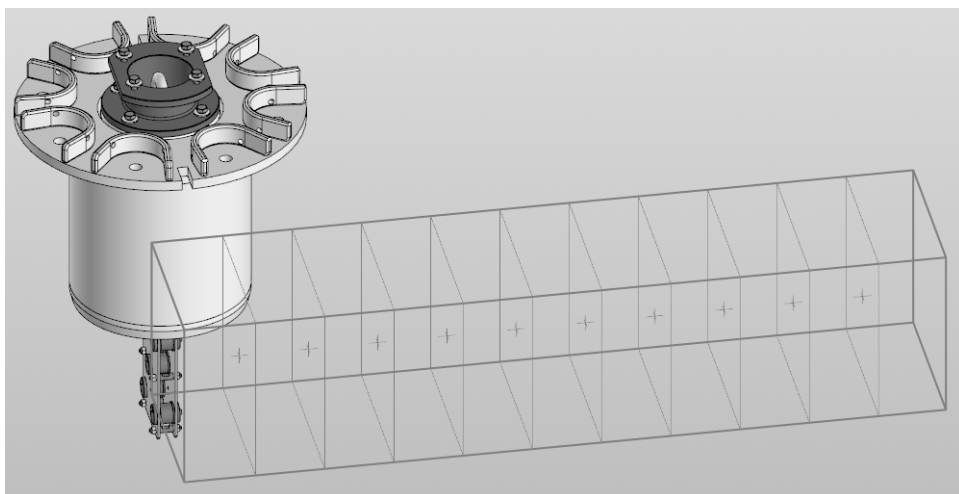


Рис. 7. Разбиение расчетной области

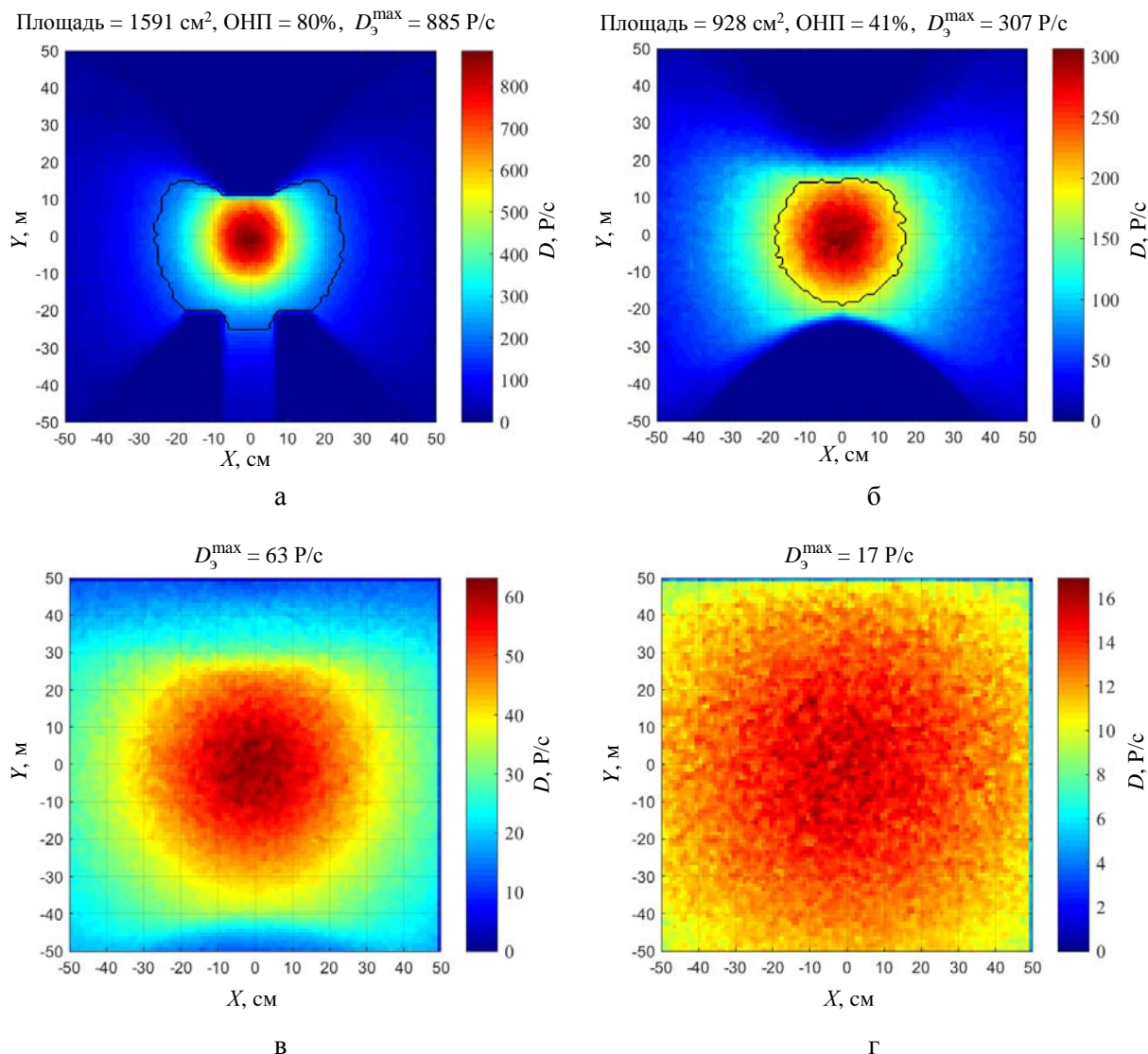


Рис. 8. Распределение мощности экспозиционной дозы от ГУ СИ в зависимости от расстояния от торца ЗРИ: а – 10 см; б – 20 см; в – 50 см; г – 100 см

ГУ СИ должна обеспечивать на поверхности площадью 600 см<sup>2</sup> мощность дозы не менее 180 P/c с неоднородностью поля излучения 30%. На изображениях, соответствующих расстояниям 10 и 20 см, черным выделены области, где мощность дозы превышает 180 P/c, указаны площади данных областей и величина неоднородности

в них. Из рис. 8,а,б видно, что вышеуказанные требования выполняются в диапазоне от 20 до 30 см. Более подробные расчеты показали, что на расстоянии 22,5 см от торца ЗРИ мощность экспозиционной дозы на площади 602 см<sup>2</sup> будет не менее 180 P/c с неоднородностью поля 28,1% (рис. 9).

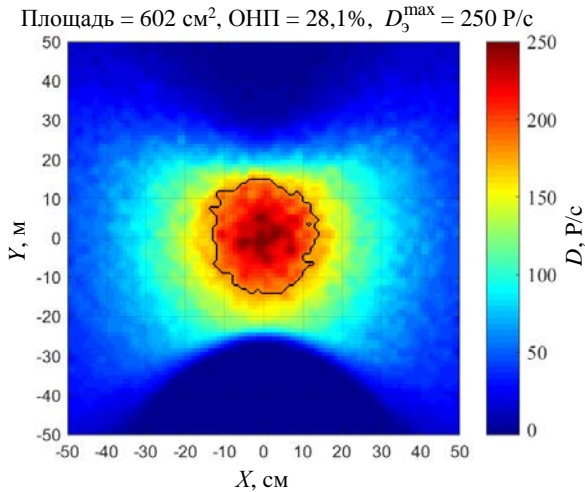


Рис. 9. Распределение мощности экспозиционной дозы от ГУ СИ на расстоянии 22,5 см от торца ЗРИ

### Заключение

Проведено расчетно-теоретическое обоснование радиационной безопасности разрабатываемой ГУ СИ в исходном и рабочем положениях.

В исходном положении на расстоянии 100 см от составных частей мощность эквивалентной дозы составила 11,2 мкЗв/ч над пробкой и 9,4 мкЗв/ч от боковой стенки защитного контейнера, что удовлетворяет требованиям п. 3.7.6 ОСПОРБ 99/2010 для стационарных установок, действие которых основано на использовании ЗРИ.

Для рабочего положения ГУ СИ рассчитана карта полей. Двумя способами оценена кратность ослабления  $\gamma$ -излучения в бетонной стене толщиной 100 см, определено, что данная толщина не удовлетворяет требованиям НРБ-99/2009. Для безопасности персонала группы А толщина стены должна составлять не менее 150 см.

Представлены результаты расчета пространственного распределения мощности экспозиционной дозы в предполагаемой области облучения ЭКБ.

### Список литературы

1. Бабичев А. П., Братковский А. М. и др. Физические величины: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1991. 1232 с.
2. Житник А. К., Донской Е. Н., Огнев С. П. и др. Методика С-007 решения методом Монте-Карло связанных линейных уравнений переноса нейтронов, гамма-квантов, электронов и позитронов // ВАНТ. Серия: Математическое моделирование физических процессов. 2011. № 1. С. 17–25.
3. Сертификат-разрешение на конструкцию транспортного упаковочного комплекта УКТПВ-160000/4300 и перевозку в нем радиоактивных веществ. RUS/5330/B(U)-96T(Rev.3). 7 с.
4. Машкович В. П. Защита от ионизирующих излучений: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1982. 296 с.

Контактная информация –

Плузян Карлен Гагикович,  
начальник лаборатории ИЯРФ,  
РФЯЦ-ВНИИЭФ,  
e-mail: otd4@expd.vniief.ru

Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика ядерных реакторов, 2022, вып. 4, с. 78–84.