

## ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИИ КАССЕТЫ ГАММА-УСТАНОВКИ

*Шарафетдинова Ксения Владимировна (otd4@expd.vniief.ru), Валекжанина Елена Ивановна, Демьянов Сергей Александрович, Щербакова Кристина Александровна*

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

В данной работе представлены результаты расчетного определения температуры узлов конструкции гамма-установки (ГУ) в условиях радиационного разогрева. На основе расчетных данных о величине энерговыделения в составных узлах гамма-установки определена температура элементов в процессе эксплуатации установки. Результаты проведенных исследований позволили обосновать конструктивные решения, принятые в процессе разработки технического проекта на гамма-установку.

**Ключевые слова:** гамма-установка, источник ионизирующего излучения (ИИИ), радиационный разогрев, теплообмен, конвекция, излучение.

## THERMAL DESIGN OF A GAMMA-RAY UNIT CARTRIDGE

*Sharafetdinova Kseniya Vladimirovna (otd4@expd.vniief.ru), Demyanov Sergey Aleksandrovich, Valekzhanina Yelena Ivanovna, Shcherbakova Kristina Aleksandrovna*

FSUE «RFNC-VNIIEF», Sarov Nizhny Novgorod region

The given paper presents the results of determining by calculation the temperature of gamma-ray unit assemblies under radiation heating. Basing on the data of calculations on the value of energy release there was determined the temperature of components in the multicomponent assemblies of the gamma-ray unit during its operation. The results of the performed researches made it possible to substantiate design solutions taken in the course of detailed design draft development for the gamma-ray unit.

**Keywords:** gamma-ray unit, ionizing radiation source, radiation heating, heat exchange, convection, radiation.

### Введение

Для обеспечения проведения 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 синхротронного комплекса является ГУ на основе закрытого радионуклидного источника (ЗРИ)  $^{60}\text{Co}$ . Разрабатываемая ГУ является уникальной, т. к. обеспечивает высокую мощность экспозиционной дозы ионизирующего излучения, и позволяет проводить, в том числе, испытания нескольких образцов ЭКБ одновременно, тем самым снижая себестоимость проведения испытаний.

Данная установка разрабатывается в двух конструктивных исполнениях: низкой и средней интенсивностей:

– средняя интенсивность гамма-излучения с мощностью дозы (10–300) Р/с;

– низкая интенсивность гамма-излучения с мощностью дозы (0,01–10) Р/с.

Поскольку ИИИ, размещенные в ГУ средней интенсивности, имеют активность  $\approx 10$  кКи, ее составные узлы подвергаются воздействию высоких температур, связанных с поглощением  $\gamma$  излучения в элементах конструкции. Технические условия на ЗРИ ограничивают максимальную рабочую температуру для активной части источников. В связи с этим, при разработке конструкции кассеты ГУ, необходимо определить максимально достижимую (возможную) температуру элементов.

Благодаря развитию методов компьютерного моделирования физических процессов, становится возможным относительно точное решение подобного класса задач.

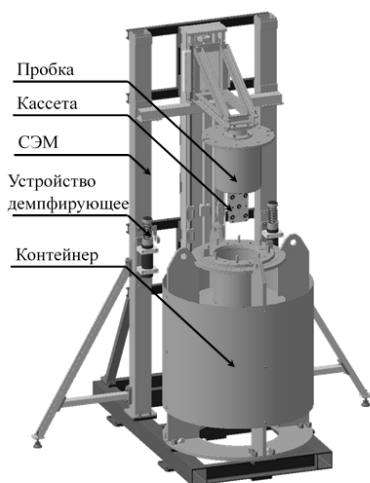
## Описание модели и постановка задачи

На рис. 1 представлена конструкция ГУ. Она состоит из блока защиты для хранения источников и стенда электромеханического, который предназначен для извлечения источников из блока защиты. Управление установкой происходит с помощью автоматизированной системы управления и контроля. В общем виде работа осуществляется в следующей последовательности:

1) пробка, рис. 1, с закрепленными на ней источниками с помощью привода перемещается из «исходного» положения вертикально вверх в «рабочее» положение;

2) происходит облучение изделий ЭКБ, которые предварительно размещены в зале дозовых облучений на определенном расстоянии от источников;

3) по истечении заданного времени пробка перемещается обратно в положение «хранения».

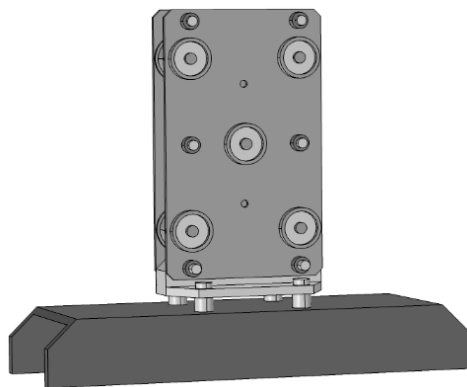


а

В качестве блока защиты используется контейнер защитный КТИ-160000/4300, состоящий из пробки и контейнера. Контейнер 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.

Пробка представляет собой сварную, герметичную конструкцию, состоящую из крышки со стаканом и находящейся внутри радиационной защиты. Сверху крышки имеется ухо для извлечения пробки из контейнера и установки ее обратно. К пробке крепится кассета с ИИИ.

Кассета представляет собой две латунные пластины с установленными в них стаканами под ИИИ, соединенные между собой шпильками. Пластины фиксируются на кронштейне из титанового сплава,



б

Рис. 1. Гамма-установка: а – общий вид, б – экспериментальная модель кассеты ГУ

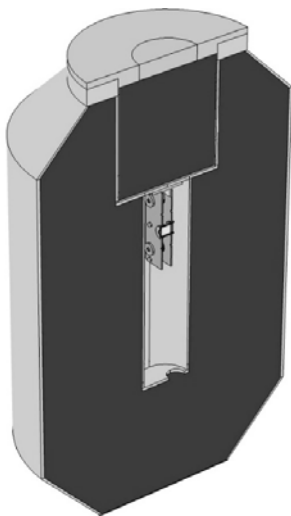


Рис. 2. Расчетная модель гамма-установки

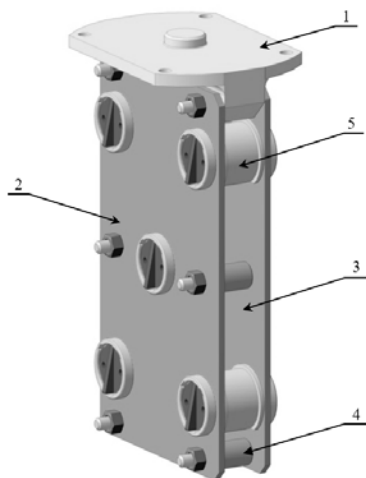


Рис. 3. Общий вид кассеты с установленными ИИИ: 1 – кронштейн, 2 – пластина ближняя, 3 – пластина задняя, 4 – шпилька, 5 – стакан с ИИИ

Исходные параметры, используемые для проведения расчета

Наименование элемента, материал	Объем, м <sup>3</sup>	Энерговыведение в рабочем положении, эВ	Энерговыведение в закрытом положении, эВ	Максимальное энерговыведение, эВ
ГИК внешний стакан, сталь 12X18H10T	2,78E-06	5,23E+03	5,26E+03	5,26E+03
ГИК внутренний стакан, сталь 12X18H10T	2,01E-06	5,90E+03	5,93E+03	5,93E+03
ГИК кобальт, <sup>60</sup> Со	7,76E-06	4,95E+04	4,96E+04	4,96E+04
ГИК внешний стакан, сталь 12X18H10T	2,78E-06	5,03E+03	5,07E+03	5,07E+03
ГИК внутренний стакан, сталь 12X18H10T	2,01E-06	5,73E+03	5,76E+03	5,76E+03
ГИК кобальт, <sup>60</sup> Со	7,76E-06	4,88E+04	4,89E+04	4,89E+04
ГИК внешний стакан, сталь 12X18H10T	2,78E-06	5,03E+03	5,07E+03	5,07E+03
ГИК внутренний стакан, сталь 12X18H10T	2,01E-06	5,73E+03	5,76E+03	5,76E+03
ГИК кобальт, <sup>60</sup> Со	7,76E-06	4,88E+04	4,89E+04	4,89E+04
ГИК внешний стакан, сталь 12X18H10T	2,78E-06	5,02E+03	5,06E+03	5,06E+03
ГИК внутренний стакан, сталь 12X18H10T	2,01E-06	5,72E+03	5,76E+03	5,76E+03
ГИК кобальт, <sup>60</sup> Со	7,76E-06	4,87E+04	4,88E+04	4,88E+04
ГИК внешний стакан, сталь 12X18H10T	2,78E-06	5,03E+03	5,06E+03	5,06E+03
ГИК внутренний стакан, сталь 12X18H10T	2,01E-06	5,73E+03	5,75E+03	5,75E+03
ГИК кобальт, <sup>60</sup> Со	7,76E-06	4,87E+04	4,89E+04	4,89E+04
Стакан латунь, Л96	1,12E-05	1,71E+04	1,73E+04	1,73E+04
Стакан латунь, Л96	1,12E-05	1,62E+04	1,64E+04	1,64E+04
Стакан латунь, Л96	1,12E-05	1,62E+04	1,64E+04	1,64E+04
Стакан латунь, Л96	1,12E-05	1,61E+04	1,63E+04	1,63E+04
Стакан латунь, Л96	1,12E-05	1,61E+04	1,63E+04	1,63E+04
Пластина ближняя, Л96	5,28E-05	2,69E+04	2,79E+04	2,79E+04
Пластина дальняя, Л96	5,28E-05	3,04E+04	3,16E+04	3,16E+04
Кронштейн титановый сплав, ПТ-3В	6,80E-05	1,01E+04	1,05E+04	1,05E+04

с помощью которого кассета крепится к пробке (рис. 2.).

В качестве ИИИ используется ЗРИ на основе изотопа <sup>60</sup>Со типа ГИК 9-4 (предприятие-изготовитель ФГУП «ПО «Маяк»), т.к. он имеет достаточно высокую активность и малые габариты. Общий вид ИИИ, состоящего из металлического кобальта, облицованного двумя герметичными оболочками, представлен на рис. 3.

Для обоснования принятого метода проведения тепловых расчетов был создан и испытан макет тепловой А0411 Л130 (далее – макет тепловой).

Макет тепловой представляет собой массогабаритный аналог кассеты, установленной на основании (см. рис. 1,б). ИИИ заменены втулками из нержавеющей стали с расположенными внутри них нагревательными элементами фирмы «ФЕС» Hotset 200W230V для имитации эквивалентного энерговыведения от источников гамма-излучения.

Анализ полученных расчетных и экспериментальных данных показал, что максимальное отклонение между расчетными и экспериментальными данными составляет не более 15 %. Это позволяет

провести тепловой расчет конструкции кассеты ГУ и считать его в известной степени достоверным.

Расчеты выполнены с помощью математического моделирования процесса стационарного нагрева ГУ в трехмерной постановке. При моделировании стационарного режима использованы значения максимальных энерговыведений в элементах ГУ в условиях размещения пробки и кассеты в положении «закрыто» (в модуле биологической защиты – МБЗ, на основе УКТ1В 160000/4300), полученные с помощью расчетов в программе СМК (см. табл. 1).

Рассматривались следующие начальные и граничные условия:

- температура окружающей среды: 22°C;
- коэффициент теплоотдачи для воздуха: 5,6 Вт/м<sup>2</sup>·К [1];
- температура поверхности источников не должна превышать 350 °С.

Теплофизические свойства материалов, используемые в расчете, были заданы в соответствии со справочной литературой [2, 3].

Энергия, выделявшаяся в элементах конструкции ГУ (в кассете) в положении «закрыто», расчи-

Энерговыведения элементов конструкции кассеты ГУ

Наименование элемента, материал	Максимальное энерговыведение, эВ	Мощность, Вт	Удельная мощность, Вт/м <sup>3</sup>
ГИК внешний стакан, сталь 12Х18Н10Т	5.26E+03	2.89	1.04E+06
ГИК внутренний стакан, сталь 12Х18Н10Т	5.93E+03	3.26	1.62E+06
ГИК кобальт, <sup>60</sup> Со	4.96E+04	27.25	3.51E+06
ГИК внешний стакан, сталь 12Х18Н10Т	5.07E+03	2.78	1.00E+06
ГИК внутренний стакан, сталь 12Х18Н10Т	5.76E+03	3.16	1.57E+06
ГИК кобальт, <sup>60</sup> Со	4.89E+04	26.84	3.46E+06
ГИК внешний стакан, сталь 12Х18Н10Т	5.07E+03	2.78	1.00E+06
ГИК внутренний стакан, сталь 12Х18Н10Т	5.76E+03	3.16	1.57E+06
ГИК кобальт, <sup>60</sup> Со	4.89E+04	26.84	3.46E+06
ГИК внешний стакан, сталь 12Х18Н10Т	5.06E+03	2.78	9.99E+05
ГИК внутренний стакан, сталь 12Х18Н10Т	5.76E+03	3.16	1.57E+06
ГИК кобальт, <sup>60</sup> Со	4.88E+04	26.82	3.46E+06
ГИК внешний стакан, сталь 12Х18Н10Т	5.06E+03	2.78	9.98E+05
ГИК внутренний стакан, сталь 12Х18Н10Т	5.75E+03	3.16	1.57E+06
ГИК кобальт, <sup>60</sup> Со	4.89E+04	26.84	3.46E+06
Стакан латунь, Л63	1.73E+04	9.48	8.44E+05
Стакан латунь, Л63	1.64E+04	9.01	8.02E+05
Стакан латунь, Л63	1.64E+04	9.01	8.02E+05
Стакан латунь, Л63	1.63E+04	8.98	7.99E+05
Стакан латунь, Л63	1.63E+04	8.97	7.99E+05
Пластина ближняя, Л63	2.79E+04	15.34	2.91E+05
Пластина дальняя, Л63	3.16E+04	17.36	3.29E+05
Кронштейн, титановый сплав ПТ-3В	1.05E+04	5.76	8.47E+04

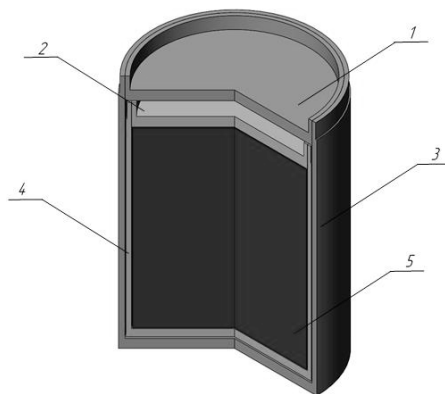


Рис.4. Общий вид источника типа ГИК: 1 – крышка наружной капсулы, 2 – крышка внутренней капсулы, 3 – корпус наружной капсулы, 4 – корпус внутренней капсулы, 5 – заготовка кобальта

танная в программе СМК, приводится в эВ (см. табл. 1).

Для осуществления тепловых расчетов необходимо вычислить тепловую мощность, определяемую по формуле:

$$Q = E \cdot q \cdot A \cdot n \cdot k \quad (1)$$

где  $Q$  – максимальное энерговыведение, Вт;  $E$  – максимальное энерговыведение, эВ;  $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ , заряд электрона;  $A = 4,63 \cdot 10^4$ , суммарная активность ИИИ, Ки;  $n = 2$ , коэффициент, обозначающий число  $\gamma$ -квантов на 1 акт распада;  $k = 3,7 \cdot 10^{10}$ , коэффициент перевода из Ки в Бк.

Значения энерговыведения в элементах конструкции кассеты ГУ приведены в табл. 2.

## Результаты

Проведены расчеты по исследованию распределения температуры в объеме составных узлов кассеты ГУ в зависимости от толщин воздушных зазоров, которые могут возникнуть при сборке конструкции и размещении источников ионизирующего излучения типа ГИК-9-4 в кассете. На рис. 5–6 представлено распределение температуры в конструкции при двух вариантах размера воздушного зазора: 0,05 мм и 0,5 мм.

На рис. 7 представлены графики изменения температуры защитного контейнера по R в зависимости от толщины воздушного зазора.

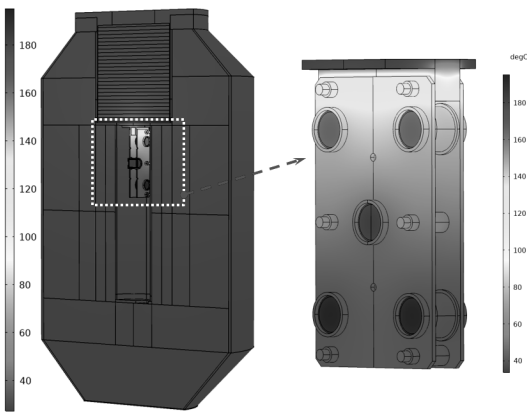


Рис. 5. Распределение температуры при толщине воздушного зазора 0,05 мм

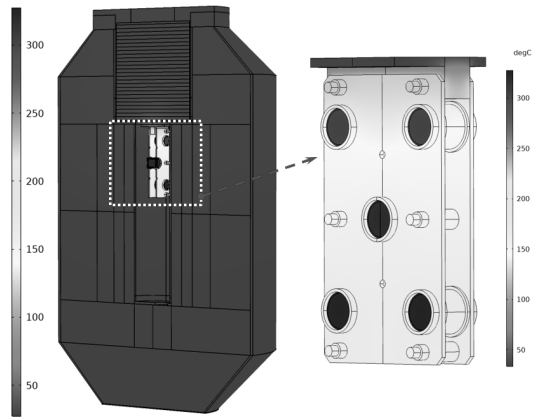


Рис. 6. Распределение температуры при толщине воздушного зазора 0,5 мм

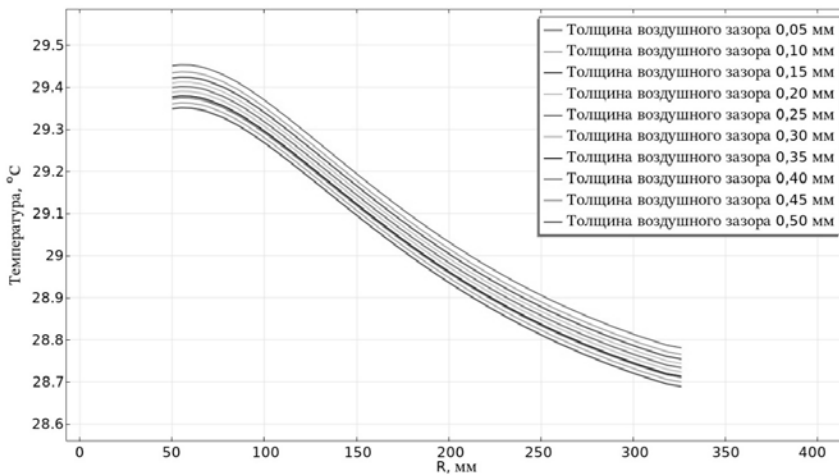


Рис. 7. Графики изменения температуры защитного контейнера по R

С увеличением толщины воздушного зазора температура источников увеличивается, так как воздушный зазор создаёт дополнительное термическое сопротивление и препятствует теплообмену с источниками.

При толщине воздушного зазора, равной 0,5 мм максимальная температура источника не превышает 330 °С. На основании этого можно сделать вывод, что даже при значительной толщине воздушного зазора, температура поверхности источников не превысит 350 °С, что удовлетворяет требованиям ТУ.

### Заключение

В работе представлены результаты численного моделирования стационарного процесса нагрева модели кассеты ГУ в трехмерной постановке.

Вычислена тепловая мощность, выделяющаяся в каждом элементе конструкции. Получены значения минимальных и максимальных температур на поверхностях пластин, в кронштейне, в пробке и внутри источников, расположенных в кассете.

Расчетные значения температур внутри ГИК-9-4 в зависимости от величины воздушного зазора находятся в интервале 184–327 °С. Исходя из проведенных расчетов, сделан вывод о том, что с увеличением воздушного зазора температура источников возрастает.

Данные, полученные в результате расчета, использованы для обоснования работоспособности гамма-установки.

### Список литературы

1. Кухлинг Х. Справочник по физике: Пер. с нем. М.: Мир, 1982. С. 520.
2. Иванов Г. Н. Тепловые свойства веществ: Справочная таблица. М.: ЦНИИАтоминформ, 1979. С. 173.
3. Бабичев А. П., Бабушкина Н. А., Братковский А. М. и др. Под ред. Григорьева И. С., Мейлихова Е. З. Физические величины. Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1991. С. 1232.