

УТВЕРЖДАЮ



Генеральный директор и  
главный конструктор  
АО «ЦНИИСМ»

А.Ф. Разин

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019г.

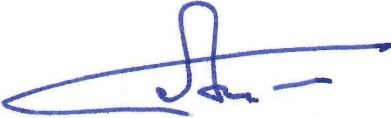




Технический отчет № 67/7-19

по договору №100-1560/706 от 25.02.2019 г.

«Проектирование корзины электромагнитного  
калориметра»

Хотьково 2019

## Список исполнителей

Начальник отд.7		А.В. Пашутов
Начальник отд.72		В.В. Мерзляков
Начальник сектора 911		В.В. Репинский
Ведущий конструктор		В.В. Шведов
Инженер-конструктор 1 кат.		Р.Н. Синицын

## **Аннотация**

Настоящий отчет содержит результаты проработки конструктивно-технологической концепции композитной корзины электромагнитного калориметра МРД.

## Содержание:

1	Исходные данные и технические требования, предъявляемые к корзине .....	5
2	Проработка вариантов конструкции корзины электромагнитного калориметра .....	6
2.1	Описание конструкции корзины .....	6
2.2	Предварительный расчет жесткостных параметров корзины ....	9
3	Директивная технология изготовления корзины и крышки .....	16
4	Технико-экономическое обоснование работ .....	18
5	Устройство для установки корзины в каркас .....	20

## **1 Исходные данные и технические требования, предъявляемые к корзине**

Требования, предъявляемые к конструкции корзины, определены в приложении № 1 к договору № 100-1560/706 от 25.02.2019 г. между Объединенным институтом ядерных исследований и АО «ЦНИИСМ».

1. В корзине должны быть размещены и вклеены 48 модулей ЕСАL общим весом 1,7 т.с. Каждый модуль помещается в отдельную ячейку, отделенную от соседних ячеек перегородкой толщиной не более 2 мм. В донной части ячеек имеются сквозные пазы размеры и конфигурация определены в ТЗ. После установки модулей ЕСАL корзина закрывается крышкой, которая ставится на клей на весь период исследований.
2. Корзина с установленными модулями и наполнителем должна иметь необходимую прочность, жесткость, а прогиб не более 0,5 мм.
3. Для снятия статического заряда, в корзине желательно применить антистатические материалы – углепластик, латунь или медь.
4. Температурный диапазон эксплуатации корзины от 15 до 40°С.

## **2 Проработка вариантов конструкции корзины электромагнитного калориметра**

### **2.1 Описание конструкции корзины**

Конструктивный облик корзины определен требованиями технического задания с учетом заданных геометрических размеров согласно эскизу D-060.015.000BO.

Корзина с габаритными размерами 555x576x3110 мм рис.2.1 разделена на секции, восемь продольных и шесть поперечных, разделенных перегородкой толщиной не более 2 мм. В каждой ячейке донной части корзины выполнены по 6 сквозных пазов шириной 30 мм разной длины. В передних ячейках длина пазов составляет 237 мм, а в задних ячейках – 421 мм. Учитывая, что наличие 48 пазов в донной части на длине 2612 мм ослабляет жесткость конструкции, толщина донной части принята 8 мм. В верхней части корзина закрыта крышкой из композитного материала толщиной 5 мм. Так как каждая ячейка в продольном направлении корзины имеет свой угол наклона, то всего получается 8 типоразмеров ячеек, в которые устанавливаются на клей модули ESCAL в количестве 48 модулей, масса одного модуля примерно 22÷25 кг. Общий вес корзины составляет ~ 1,7 т.с.

Первоначально для конструкции корзины, в соответствии с техническим заданием, рассматривалось применение углепластикового материала на основе углеткани УТ-3К-Саржа 2/200 толщиной 0,25 мм и связующего ЭДН-1У. Масса корзины из углепластика составляет 54 кг.

В связи с тем, что 1 п.м углеродной ткани стоит 2650 руб., а цена комплекта корзин из углепластика оказалась неприемлемой для заказчика, заказчиком было принято решение об использовании стеклопластика как наиболее дешевого материала.

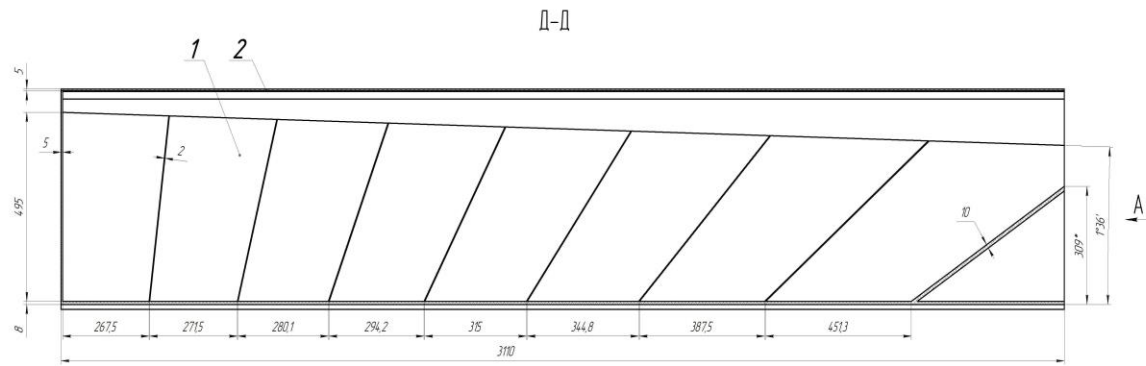
Поэтому для корзины был выбран стеклопластик на основе ткани Т-10-14 ГОСТ 19170-2001, пропитанной связующим ЭДН-1У ТУ ВЗ-759-06.

Толщина ткани составляет 0,25 мм, а цена 1 п.м – 185 руб.

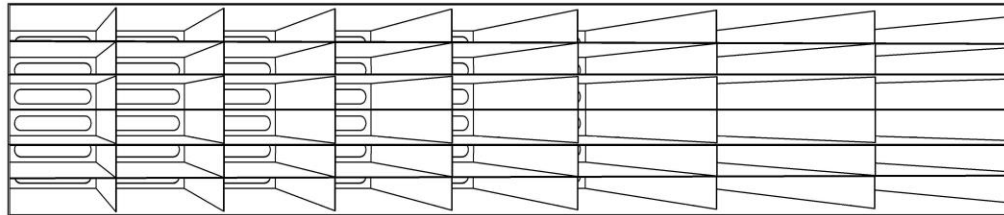
Количество слоев тканевых препрегов для перегородок толщиной 2 мм составляет 8 слоев. Корзина из стеклопластика имеет массу 85,8 кг.

При необходимости снятия статического заряда придется один поверхностный стеклопластиковый слой корзины и крышки заменить на углепластиковый.

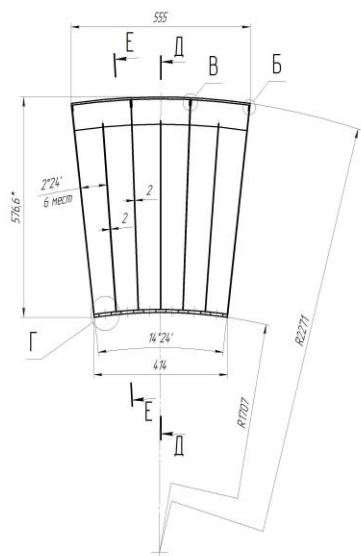
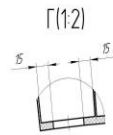
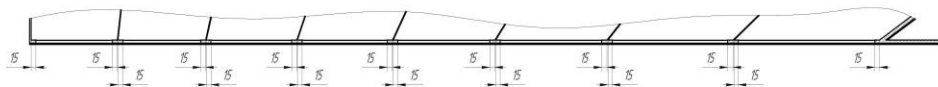
06000510090-0



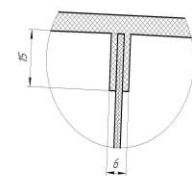
Дет. поз. 2 не показана



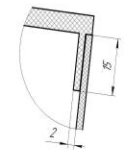
Е-Е-О



В(2:1)



Б(2:1)



1 \* Размеры для справок  
2. В графе "Масса" указано теоретическое значение массы

№	Обозначение	Наименование	№	Примечание
1	D-060.015.001	Корзина	1	13х44
2	D-060.015.002	Крышка	1	
<b>D-060.015.000B0</b>				
Корзина ЭК			Масса	15
Чертеж общего вида			Лист	85,8



## 2.2 Предварительный расчет жесткостных параметров корзины

### 1. Конструктивные особенности корзины

Корзина электромагнитного калориметра MPD (далее по тексту – корзина) является силовой конструкцией полусектора ЕСАL и предназначена для размещения 48 модулей калориметра и соответствующих элементов электронной аппаратуры считывания.

Общий вид корзины представлен на рисунке 2.2.

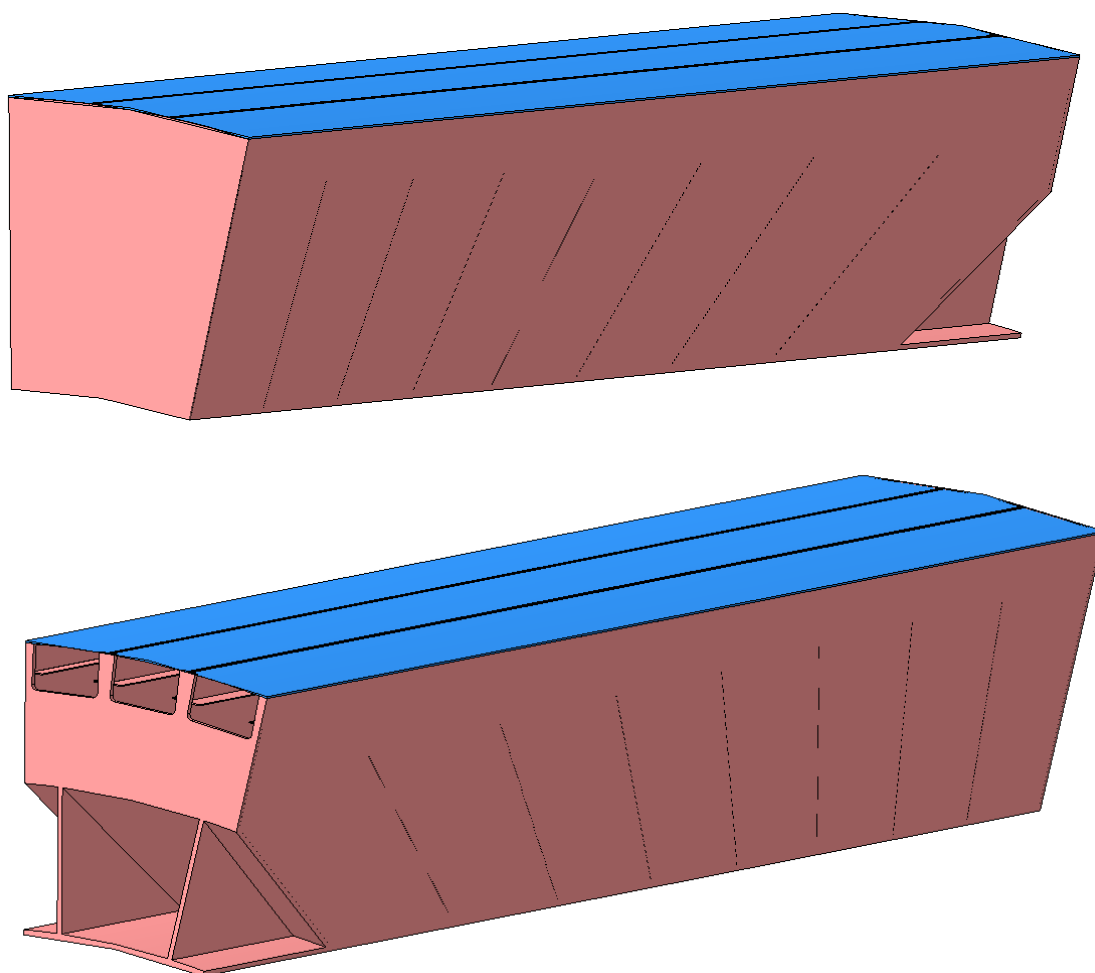


Рисунок 2.2 –Общий вид корзины

Основные геометрические параметры корзины приняты в соответствии с 3D-моделью и приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Геометрические параметры корзины

Параметр	Значение
Длина $L$ , мм	3100
Внутренний радиус днища $R_{\text{дн}}$ , мм	1702
Толщина днища $h_{\text{дн}}$ , мм	8
Наружный радиус крышки $R_{\text{кр}}$ , мм	2272
Толщина крышки $h_{\text{кр}}$ , мм	5
Угол между наружными ребрами (стенками) $\varphi$ , °	14,4
Толщина ребер (стенок) $h_{\text{р}}$ , мм	2
Толщина перегородок $h_{\text{п}}$ , мм	2

Корзина выполнена из стеклопластика на основе ткани Т-10-14 ГОСТ 19170-2001, пропитанной связующим ЭДН-1У ТУ ВЗ-759-06. В качестве заполнителя ячеек используется Polistirol 124N.

## 2. Требования к конструкции

В соответствии с требованиями ТЗ:

- прочность и жесткость корзины должны позволять ее вращение в пространстве;

- жесткость корзины с установленными модулями и электронной аппаратурой считывания должна обеспечивать прогибы не более 0,5 мм.

## 3. Физико-механические характеристики материалов, используемых в конструкции

Физико-механические характеристики материалов конструкции, принятые в расчете приведены в таблицах 2, 3.

Таблица 2 – Физико-механические характеристики стеклопластика на основе ткани Т-10-14 и связующего ЭДН-1У[1]

Наименование характеристики		Значение
Модуль упругости при растяжении вдоль основы $E_1$ , кгс/мм <sup>2</sup>		2892
Модуль упругости при растяжении вдоль утка $E_2$ , кгс/мм <sup>2</sup>		2151
Модуль сдвига $G_{12}$ , кгс/мм <sup>2</sup>		510
Коэффициент Пуассона	$\mu_{12}$	0,14
	$\mu_{21}$	0,10
Разрушающее напряжение при растяжении по основе $\sigma_1$ , кгс/мм <sup>2</sup>		73,5
Разрушающее напряжение при растяжении по утку $\sigma_2$ , кгс/мм <sup>2</sup>		26,5
Разрушающее напряжение при сжатии по основе $\sigma_{-1}$ , кгс/мм <sup>2</sup>		54,5
Разрушающее напряжение при сжатии по утку $\sigma_{-2}$ , кгс/мм <sup>2</sup>		27,6
Плотность $\rho$ , кг/мм <sup>3</sup>		$1,8 \cdot 10^{-6}$

Таблица 3 – Физико-механические характеристики Polistirol 124N

Наименование характеристики	Значение
Модуль упругости $E$ , кгс/мм <sup>2</sup>	336,4
Модуль сдвига $G$ , кгс/мм <sup>2</sup>	137,6
Коэффициент Пуассона $\mu$	0,22
Плотность $\rho$ , кг/мм <sup>3</sup>	$1,04 \cdot 10^{-6}$ *

\* Примечание – для обеспечения требуемой по ТЗ массы (веса) конструкции корзины, с учетом установленных модулей,  $m=1710$  кг, в расчете плотность заполнителя принята  $2,68 \cdot 10^{-6}$  кг/мм<sup>3</sup>.

#### 4. Результаты расчета

Расчет проведен численно – методом конечных элементов.

Для расчета напряженно-деформированного состояния проектируемой конструкции использован оригинальный программный комплекс, разработанный в среде функционально-объектного программирования «Алгозит» (свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ 2017612895

от 06.03.2017 г.). Указанный комплекс реализует метод конечных элементов в форме метода перемещений и прошел апробацию в АО «ЦНИИСМ» при проектировании и отработке широкой номенклатуры несущих конструкций изделий спецтехники из композиционных материалов.

Вид конечно-элементной модели (КЭМ) приведен на рисунке 2.3.

Конечно-элементная модель включает в себя:

- трехузловые и четырехузловые слоистые оболочечные элементы, моделирующие конструкцию корзины;

- восьмиузловые объемные элементы, моделирующие наполнитель;

- балочные элементы, моделирующие упоры крышки.

Масса модели без наполнителя равна 85,8 кг, с наполнителем – 1709 кг.

В расчете рассмотрены следующие варианты нагружения корзины:

1) Воздействие инерционной нагрузки по оси  $R$  (цилиндрическая система координат) –  $-1,0g$  (знак нагрузки привязан к направлению оси координат, рисунок 2.4а). Граничные условия, соответствующие шарнирному опиранию, накладывались на узлы коротких сторон днища.

2) Воздействие инерционной нагрузки по оси  $R$  (цилиндрическая система координат) –  $1,0g$  (рисунок 2.4б). Граничные условия, соответствующие шарнирному опиранию, накладывались на узлы коротких сторон крышки.

3) Воздействие инерционной нагрузки по оси  $\varphi$  (цилиндрическая система координат) –  $-1,0g$  (рисунок 2.4в). Граничные условия, соответствующие шарнирному опиранию, накладывались на узлы коротких сторон нижней боковой поверхности.

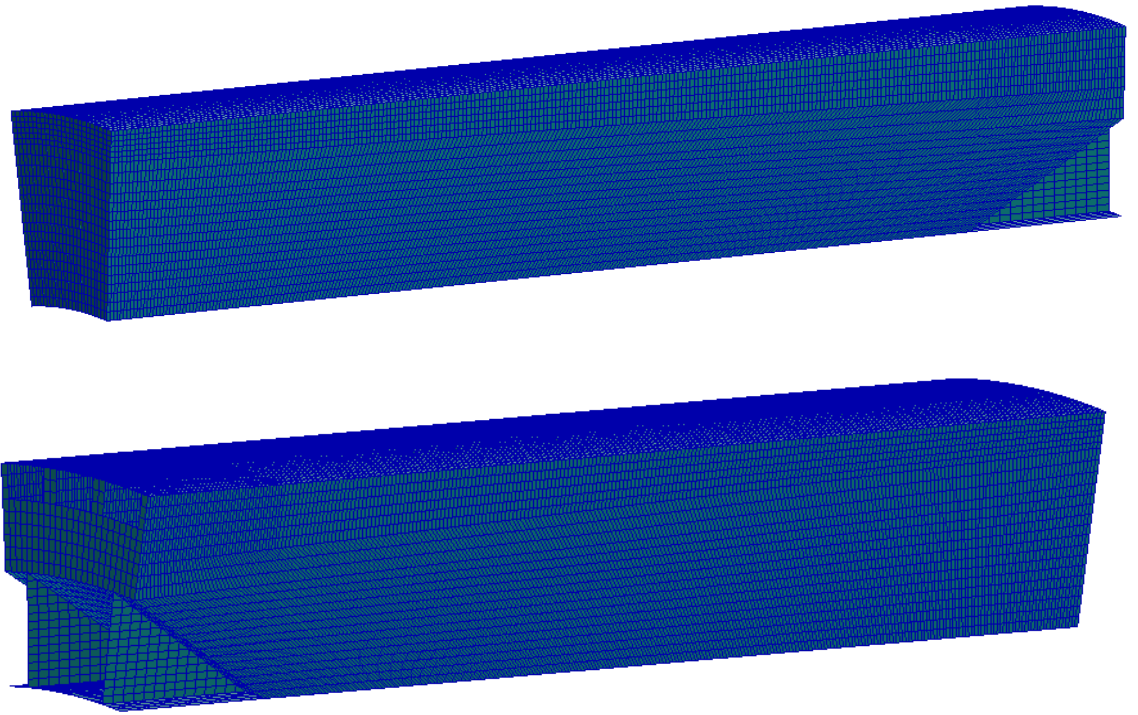


Рисунок 2.3 – Вид КЭМ

Результаты расчета приведены в таблице 4.

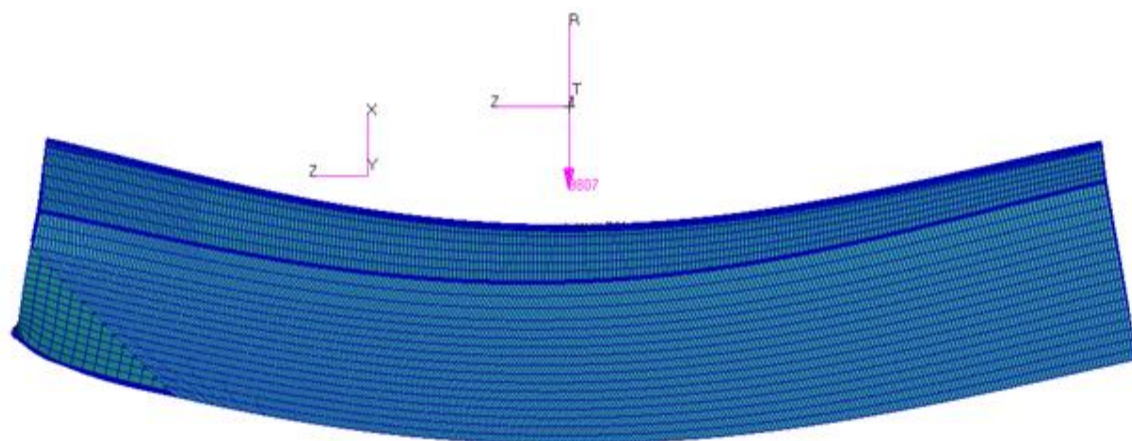
Таблица 4 – Результаты расчета

Элемент конструкции		Напряжения в элементах конструкции $\sigma$ , кгс/мм <sup>2</sup> для варианта нагружения		
		-1,0g по оси $R$	+1,0g по оси $R$	-1,0g по оси $\varphi$
Днище	основа*	-24,4...+3,28	-1,08...+0,26	-2,64...+0,93
	уток*	-6,87...+0,85	-1,47...+0,05	-3,99...+1,24
Ребра	основа	-1,72...+0,48	-4,17...+0,28	-2,64...+0,37
	уток	-4,34...+0,63	-8,26...+1,00	-6,52...+0,78
Перегородки	основа	-0,14...+0,29	-0,33...+0,26	-0,19...+0,23
	уток	-0,69...+0,52	-0,90...+0,44	-0,85...+0,56
Крышка	основа	-0,10...+0,49	-3,39...+0,49	-2,64...+0,74
	уток	-1,38...+0,19	-8,26...+1,00	-5,23...+0,69
Упоры крышки		-1,88...+0,79	-19,0...+1,32	-2,74...+4,41
Спинка передняя	основа	-1,72...+0,15	-3,80...+0,62	-3,06...+0,42
	уток	-4,34...+0,11	-8,26...+0,005	-4,74...+0,35

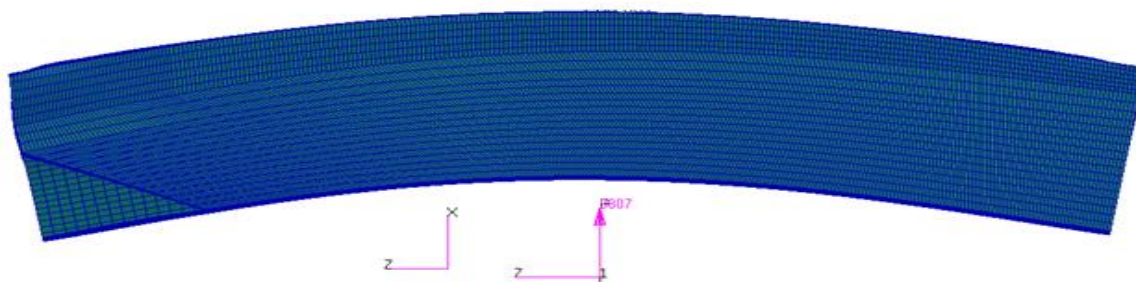
Продолжение таблицы 4

Спинка задняя	основа	-0,59...+0,29	-3,30...+1,48	-2,43...+0,93
	уток	-0,45...+0,19	-8,03...+0,31	-3,04...+1,18
<b>Минимальный запас прочности <math>\eta</math></b>				
	основа	$\eta_{\sigma}=2,22$ (днище)	$\eta_{\sigma}=2,85$ (упоры крышки)	$\eta_{\sigma}>10$
	уток	$\eta_{\sigma}=4,02$ (днище)	$\eta_{\sigma}=3,34$ (ребра, крышка, спинка)	$\eta_{\sigma}=4,23$ (ребра)
<b>Прогиб, мм</b>				
		<b>0,239</b>	<b>0,255</b>	<b>0,177</b>
* В ребрах, перегородках, спинках основа ткани направлена по вертикали; в днище и крышке в окружном направлении				

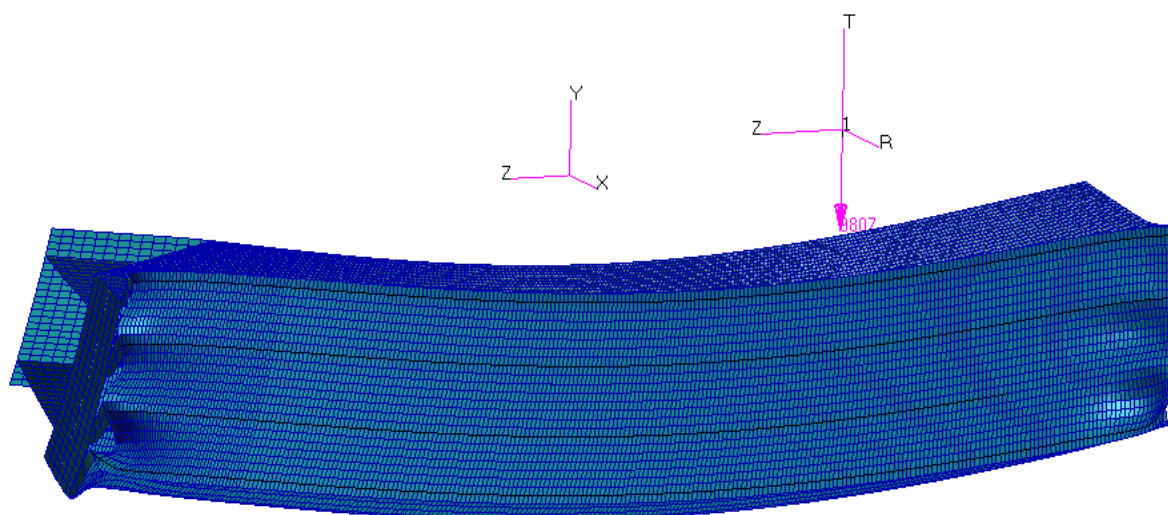
Деформированное состояние конструкции проиллюстрировано на рисунке 2.4.



а)



б)



в)

Рисунок 2.4 – Максимальный прогиб корзины

а) при нагружении  $-1,0g$  по оси  $R$ ; б) при нагружении  $+1,0g$  по оси  $R$ ;

в) при нагружении  $-1,0g$  по оси  $\varphi$

#### Выводы

Проведенный расчет показал, что жесткостные параметры конструкции корзины (максимальный прогиб  $0,255$  мм для случая нагружения  $+1,0g$  по оси  $R$ ) удовлетворяют требованиям ТЗ (прогиб не более  $0,5$  мм).

### **3 Директивная технология изготовления корзины и крышки**

Для изготовления корзины и крышки выбран метод послойной выкладки препрега в специальной форме с последующим отверждением в автоклаве с обеспечением вакуумирования и необходимого давления формования.

Конструкция форм должна обеспечивать все основные размеры корзины и крышки.

Директивный технологический процесс представлен ниже.

#### ***Изготовление корзины:***

- раскрой препрега для знаков, оформляющих ячейки;
- подготовка формы;
- выкладка слоев последовательно на 48 знаков согласно схеме армирования;
- подпрессовка слоев препрега на 48 знаках перед укладкой их в прессформу;
- укладка 48 знаков в прессформу, обеспечивая поджатие к сопрягаемым сторонам соседних знаков;
- подтянуть винтами стенки прессформы с закрепленной листовой термокомпрессионной резиной до упора;
- поместить прессформу в автоклав и провести термообработку по заданному режиму;
- разборка прессформы и извлечение изделия;
- механическая обработка ребер по высоте в соответствии с чертежом.

#### ***Изготовление крышки:***

- раскрой препрега;
- подготовка формы;
- выкладка слоев согласно схеме;



- размещение формы в автоклаве и проведение термообработки по заданному режиму;
- разборка формы и извлечение изделия;
- механическая обработка в соответствии с чертежом.

#### 4 Технико-экономическое обоснование работ

Наименование темы: «Проектирование корзины электромагнитного калориметра».

Определение цены работы, предусмотренной техническим заданием и календарным планом работ, проведено прямым счетом. Состав затрат принят согласно Налоговому кодексу РФ, часть II от 5 августа 2000 г. № 117-ФЗ глава 25.

При расчете стоимости работ использованы исходные данные, базирующиеся на экономических нормативах АО «ЦНИИСМ» 2018 года, утвержденных Генеральным директором и нормативах общегосударственного уровня.

1. Общая стоимость работ составляет 98 036, 91 тыс. рублей.

2. Номенклатура материалов определена в соответствии с необходимыми работами. Затраты на материалы для выполнения работы определены в сумме 9 367,57 тыс. рублей.

3. Трудозатраты на выполнение работ оцениваются в 157,0 чел. мес. и 41 160,0 н/час и определены на основе экспертных оценок их трудоёмкости, продолжительности, а так же фактических данных по выполнявшимся ранее работам аналогичного характера.

4. Затраты на оплату труда (ЗОТ) составляют 10 707,4 тыс. рублей.

Планируемая заработная плата рассчитана исходя из:

- трудоемкости выполняемых работ,
- среднемесячной заработной платы одного работающего, занятого НТП 62 000 рублей и ОП 51 100 рублей

5. Страховые взносы составляют 7 584,923 тыс. рублей.

Страховые взносы определены от статьи ЗОТ в размере 31,9 %, в том числе: тариф страховых взносов - 30 % (Федеральный закон от 03.12.2011 г. № 379 - ФЗ); страховой тариф - 1,9 % (уведомление о размере страховых

взносов на обязательное медицинское страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний).

6. Затраты на специальную оснастку определены в соответствии с необходимыми работами и составляют 12 000,0 тыс. рублей.

7. Накладные расходы составляют 35 267,132 тыс. рублей, рассчитаны в соответствии с утверждённой Генеральным директором АО «ЦНИИСМ» сметой:

общепроизводственные, в том числе:

- цеховые – 207,1 % от ЗОТ персонала опытного производства;

- институтские - 29,4 % от ЗОТ работников научных подразделений;

- общехозяйственные – 44,9 % от ЗОТ всех исполнителей.

8. Прибыль определена в размере до 13,5 % от себестоимости собственного объема работ за вычетом суммы НДС и ТЗР по статье "Затраты на материалы" и по статье "Затраты на специальную технологическую оснастку". Ее сумма оценивается в 10 040,09 тыс. рублей.

## 5 Устройство для установки корзины в каркас

На рис.5.1 представлен эскиз устройства, которое состоит из двух неподвижных колец 2, соединенных между собой металлическими брусками сваркой и имеющие проушины 3 для подъема и перемещения грузоподъемными механизмами, и двух подвижных колец 4, находящихся внутри неподвижных, в которых выполнены кольцевые проточки под ролики 5, и замкнутую закрепленную цепь 6 для приводной звездочки 7, через которую вращают подвижное кольцо на 360°.

В подвижных кольцах внутри располагается композитный короб 8, боковые стороны его имеют горизонтальный вырез для перемещения гаек, соединенных между собой силовой траверсой 16, а гайки расположены на ходовых винтах 10 с трапециидальной резьбой, вращение этих винтов происходит от мотор-редуктора 11 через цепную передачу 12. Гайка-толкатель 9 через траверсу 16 упирается в силовые ребра торца корзины 1 и перемещает корзину с модулями ECAL в короб силового каркаса 13.

Для улучшения и более точной стыковки устройства и силового каркаса на подвижном кольце имеется штырь 14, который входит в отверстие опорного кольца D-000.020.07 см. рис.5.1.

Для фиксации подвижного кольца после поворота корзины имеется винтовой стопор фиксатор 15.

