

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»

РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ И НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ БЛОКА ЁМКОСТЕЙ ПРИ ВИБРАЦИОННЫХ, УДАРНЫХ И ВИБРОУДАРНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ НАГРУЗКАХ

Выполнил: студент группы 2-33м

Бакаев Д.А.

Руководитель: к.т.н., доц.

Колобов А.Б.

Цель работы:

Определение динамической реакции и напряженного состояния блока ёмкостей при вибрационных, ударных и виброударных эксплуатационных воздействиях.

Задачи работы:

- Проведение литературного обзора по теме работы;
- Обработка результатов физико-механического эксперимента;
- Численный расчет блока ёмкостей в программном комплексе ANSYS Workbench;
- Сравнительный анализ эксперимента и конечно-элементного моделирования.

Описание объекта исследования

Блок активной системы охлаждения состоит из трех ёмкостей и навесного оборудования (рис. 1).

Ёмкости 1 и 2 предназначены для хранения хладагента (спиртового раствора), а ёмкость 3 – для хранения газообразного азота.

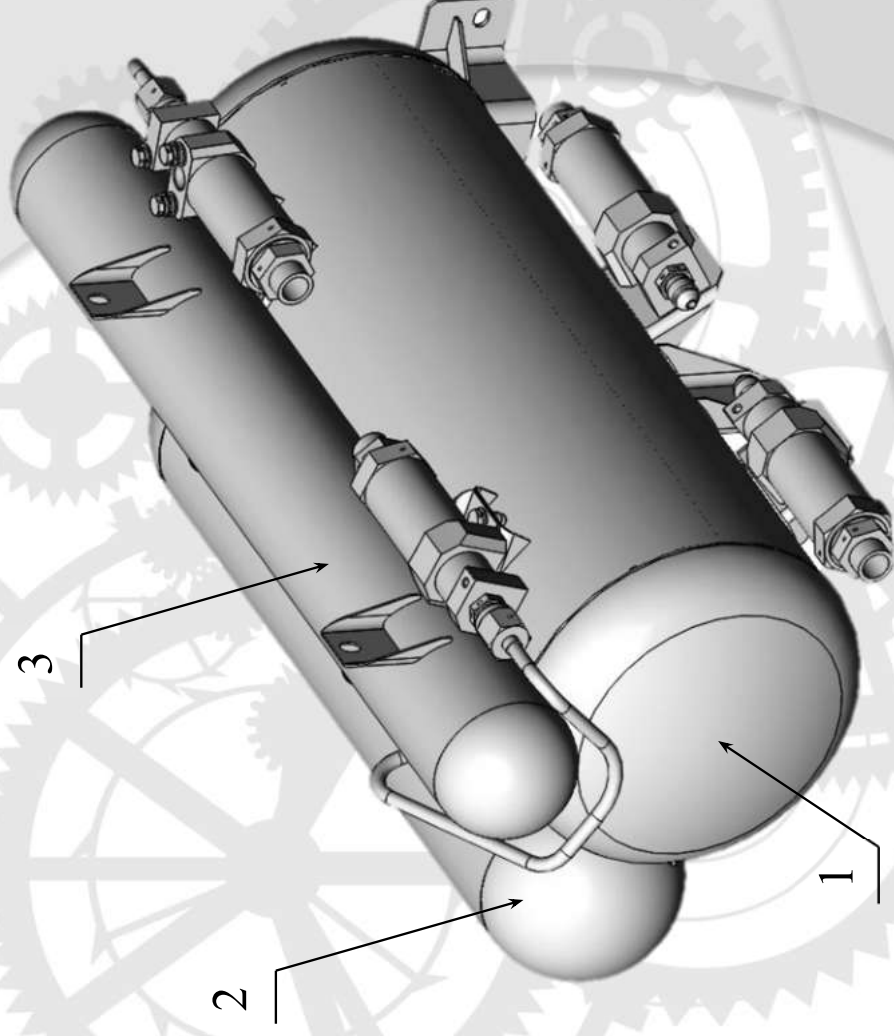


Рис. 1. Блок ёмкостей

Обработка результатов эксперимента

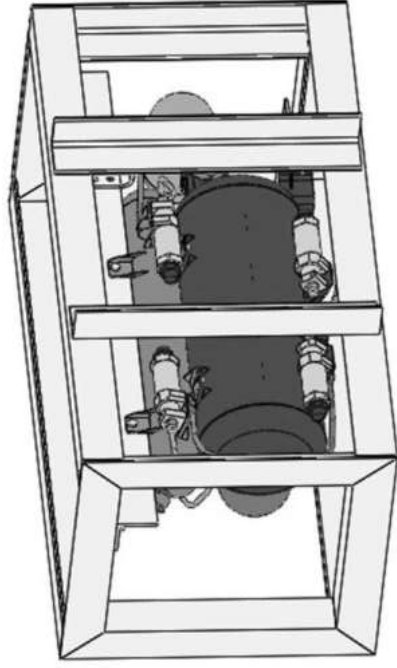


Рис. 2. Блок ёмкостей,
установленный в приспособление

Для определения амплитудно-частотной характеристики изделия (рис. 3) было использовано 6 датчиков, установленных следующим образом (рис. 14):

- в трех точках на изделии в местах основного крепления агрегата;
- на кронштейне крепления емкости 3 к емкости 1;
- на конце емкости 3 (в наиболее динамичной точке) – точка 2;
- на конце емкости 2 (в наиболее динамичной точке) – точка 3.

Испытания блока ёмкостей в сборе по обнаружению резонанса конструктивных элементов проводились на вибростенде ETS-3000 согласно ГОСТ РВ 20.57.305-98. Блок емкостей устанавливался в специально подготовленное приспособление – раму согласно 211А.7600.010ТУ (рис. 2).

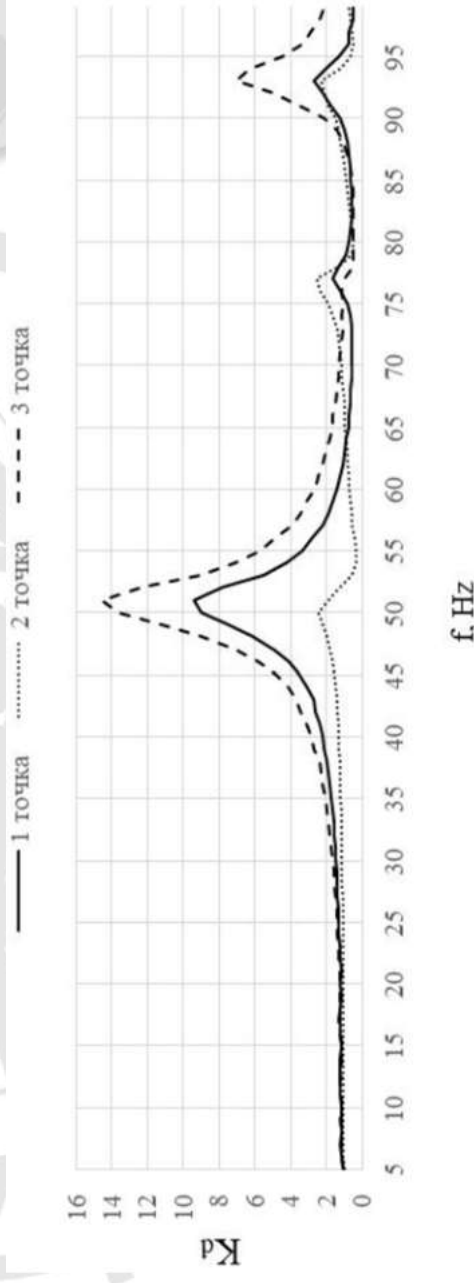
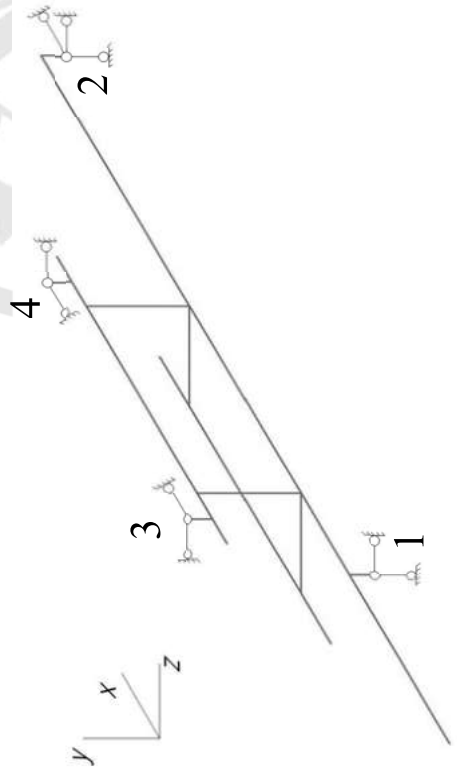


Рис. 3. АЧХ блока ёмкостей

В результате испытаний блока ёмкостей были выявлены резонансы на частотах 51, 77 и 93 Гц.

Постановка задачи численного моделирования

Необходимо определить НДС блока ёмкостей при воздействии вибрационных, ударных и виброударных нагрузок.



Граничные условия:

Точка №1:

$$u_y = u_z = 0;$$

$$\frac{du}{dx} = \frac{du}{dy} = 0.$$

Точка №2:

$$u_x = u_y = u_z = 0;$$

$$\frac{du}{dy} = \frac{du}{dz} = 0.$$

Точка №3 и №4:

$$u_x = u_z = 0;$$

$$\frac{du}{dx} = \frac{du}{dy} = 0.$$

Материал ёмкостей и кронштейнов –

Титановый сплав OT4 с характеристиками:

Плотность: $\rho = 4550 \text{ кг/м}^3$;

Модуль норм. Упругости: $E = 1,1 \cdot 10^{11} \text{ Па}$;

Коэффициент Пуассона: $\nu = 0,32$.

Способы учета охл. жидкости:

Рис. 4. Схема закрепления блока

Уравнения теории упругости:

$$\nabla \cdot \bar{\sigma} + \rho \bar{f} = 0 \quad (= \rho \ddot{u})$$

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{2} (\nabla \bar{u} + (\nabla \bar{u})^T)$$

$$\bar{\sigma} = \lambda \theta \bar{E} + 2\mu \bar{\varepsilon}$$

Конечно-элементная сетка

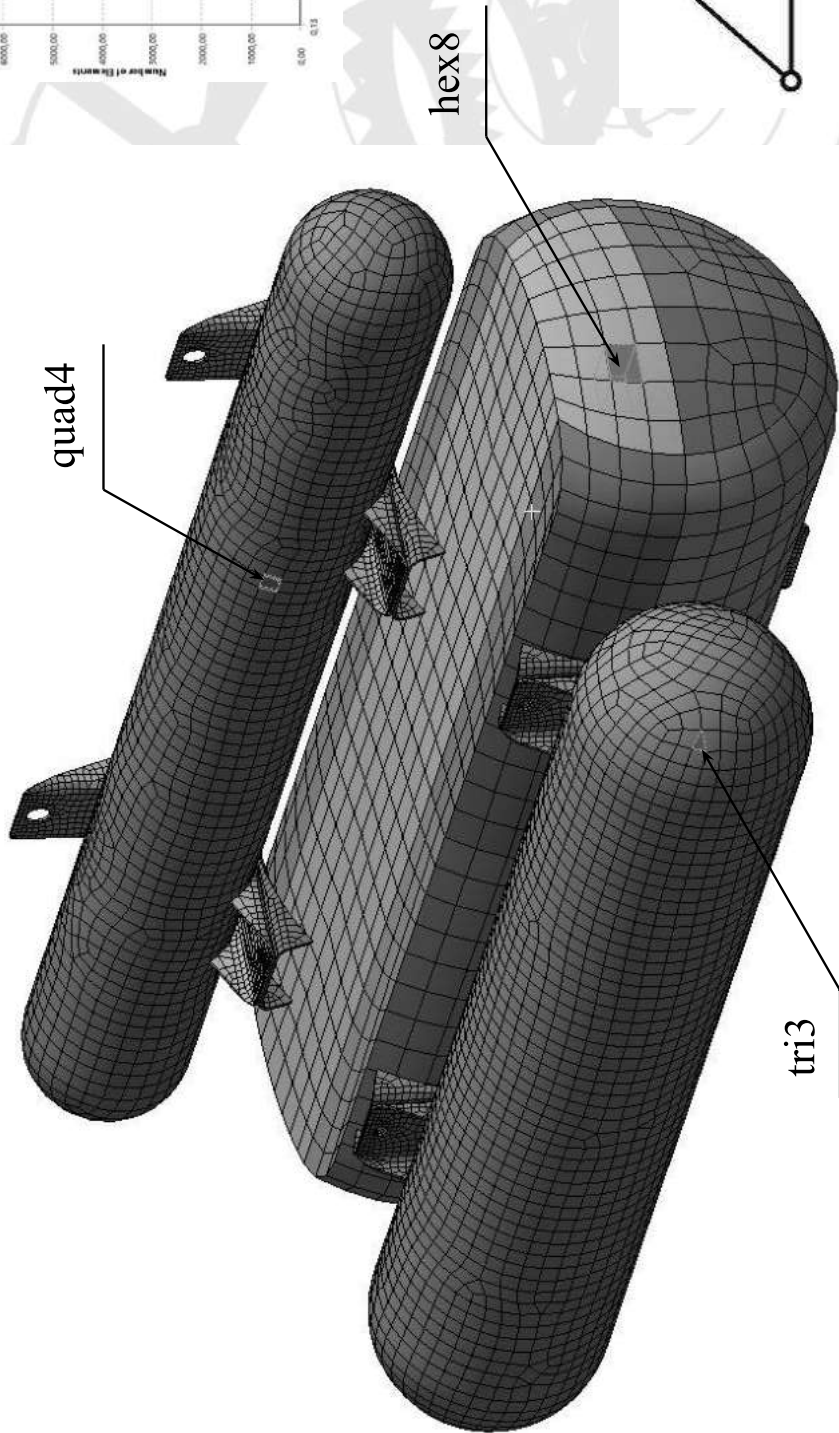


Рис. 5. КЭ сетка модели

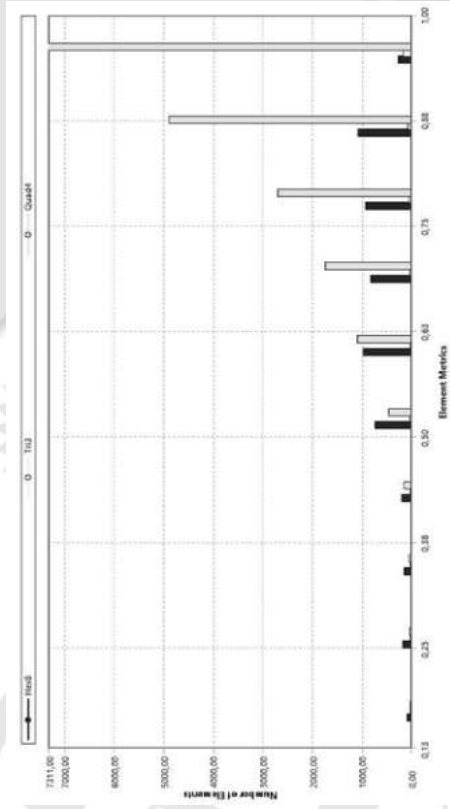


Рис. 6. Качество элементов

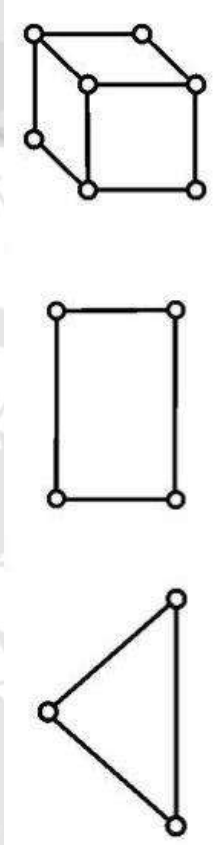


Рис. 7. Используемые типы элементов

Механические воздействия

Вид нагрузки	Этап эксплуатации	Параметры нагрузки					
1. Механиче- ский удар	1.1. Автомоб. трансп-ние	Пиковое ударное ускорение a_y , м/с ² (g) 49 (5)					
	1.2. Трансп-ние по ЖД	Пиковое ударное ускорение a , м/с ² (g) $a_x = 56(6)$, $a_z = a_y = 39,2(4)$					
	1.3. Старт	Пиковое ударное ускорение a , м/с ² (g) $a_x = 176(18)$, $a_z = a_y = 44,1(4,5)$					
2. Случайная вибрация	2.1. Наземное транспортирование	Диапазон частот f , Гц	2-10	10-20	20-40	40-60	
		Норм. зн. спек. плотности $\hat{S}(f)$, 1/Гц	0,044	0,025	0,0125	0,0075	
	2.2. Совместная эксплуатация с носителем	СКЗ ускорения σ_y , м/с ² (g)	4,9 (0,5)				
		Диапазон частот f , Гц	10-30	30-100	100-200	200-300	
3. Виброудар	3.1. Старт и автономный полет	Норм. зн. спек. плотности $\hat{S}(f)$, 1/Гц	0,0025	0,0057	0,0033	0,0022	
		СКЗ ускорения σ_y , м/с ² (g)	33 (3,4)				
		Диапазон частот f , Гц	180-355	355-710	710-1400	1400-2000	
		Доля дисперсии D , %	3,5	18,0	48,3	27,0	
	3.2. Воздействие ВУВ	Макс. знач. ускорения A_y , м/с ² (g)	1471 (150)		1962 (200)		
		Длительность действия $t_{др}$, с	0,04				
		Время нар-я ускорения до макс. $t_{н}$, с	0,002				
		Диапазон частот f , Гц	20-30	30-50	50-75	75-100	
		Доля дисперсии D , %	25	60	10	5	
		Макс. знач. ускорения A_y , м/с ² (g)	245 (25)				
		Длительность действия $t_{др}$, с	0,4				
Время нар-я ускорения до макс. $t_{н}$, с	0,1						

Статический анализ



Рис. 8. Условия нагружения

Результаты расчета

1 способ:

$$\sigma_{\max 1} = 19,4 \text{ МПа}$$

$$\varepsilon_{\max 1} = 0,012 \text{ мм}$$

2 способ:

$$\sigma_{\max 2} = 18,1 \text{ МПа}$$

$$\varepsilon_{\max 2} = 0,009 \text{ мм}$$

3 способ:

$$\sigma_{\max 3} = 15,1 \text{ МПа}$$

$$\varepsilon_{\max 3} = 0,009 \text{ мм}$$

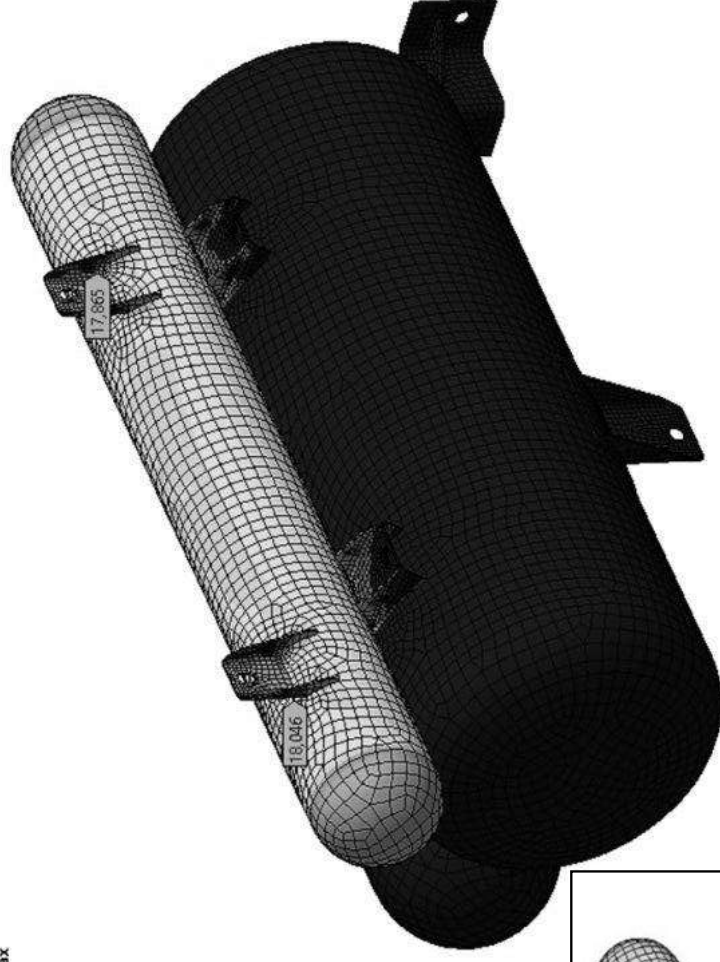
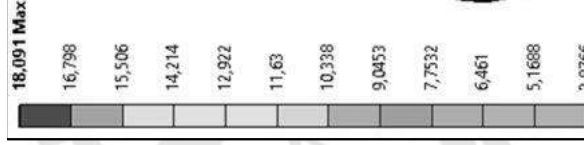


Рис. 9. Распределение напряжений (МПа) в блоке

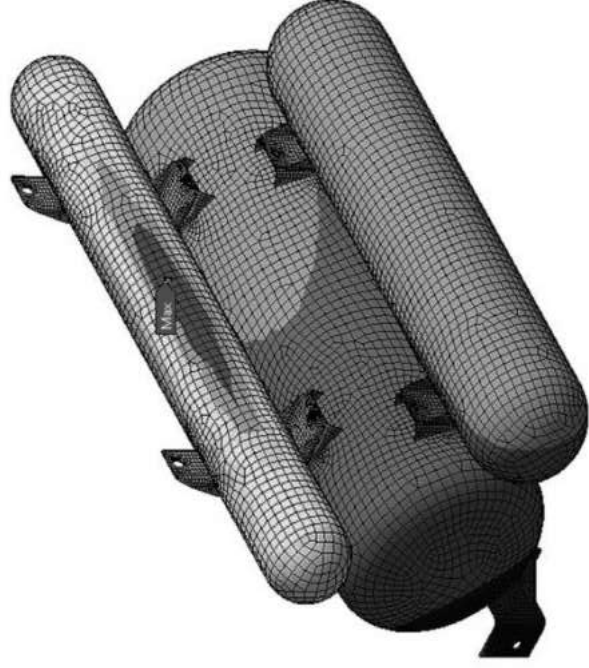
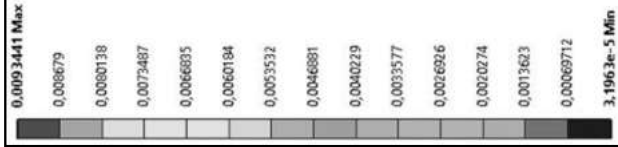


Рис. 10. Распределение перемещений (мм) в блоке

Модальный анализ

Результаты расчета

1 способ:

2 способ:

3 способ:

Формы колебаний для третьего способа:

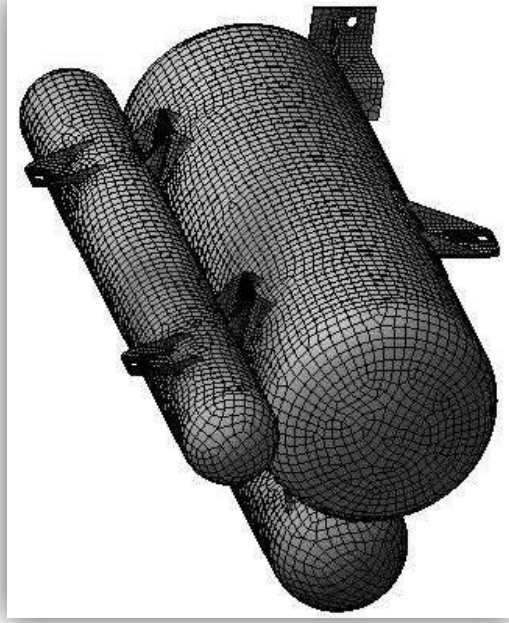


Рис. 11. Первая форма колебаний

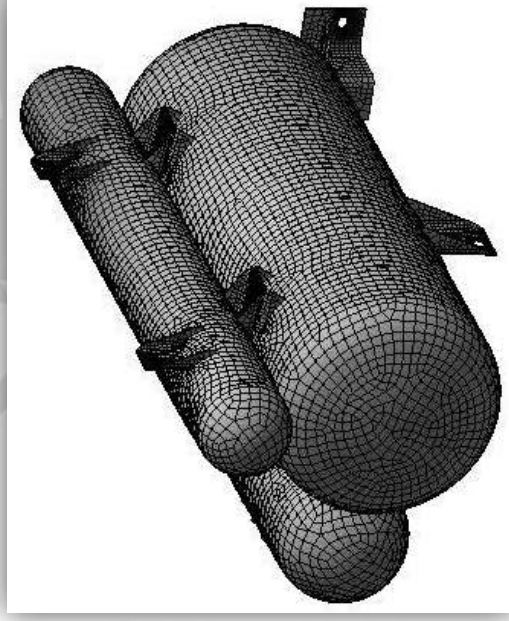


Рис. 12. Вторая форма колебаний

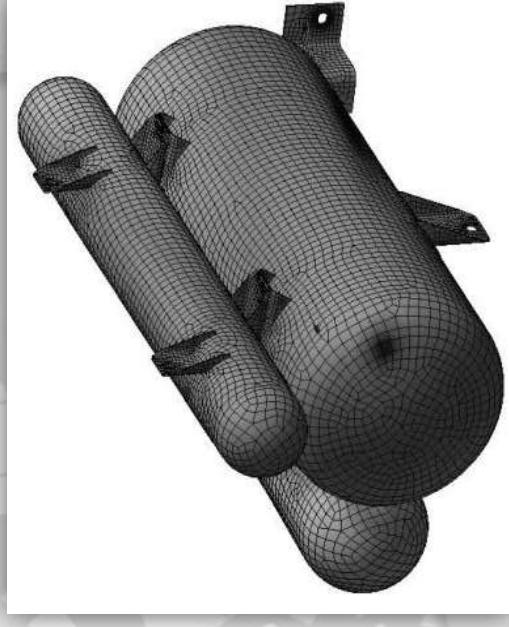


Рис. 13. Третья форма колебаний

Гармонический анализ

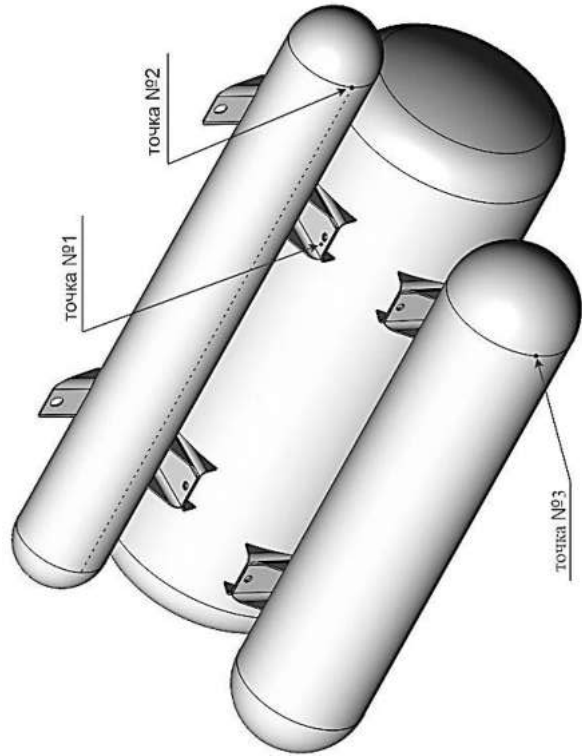


Рис. 14. Расположение точек измерения АЧХ

1 способ	2 способ	3 способ
0,0405	0,0318	0,0405

Рис. 15. АЧХ для точки №1

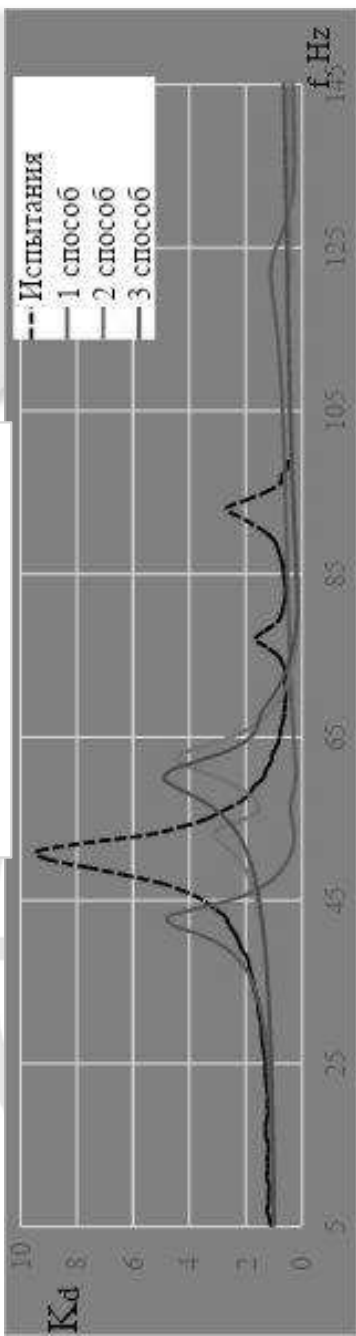


Рис. 16. АЧХ для точки №2

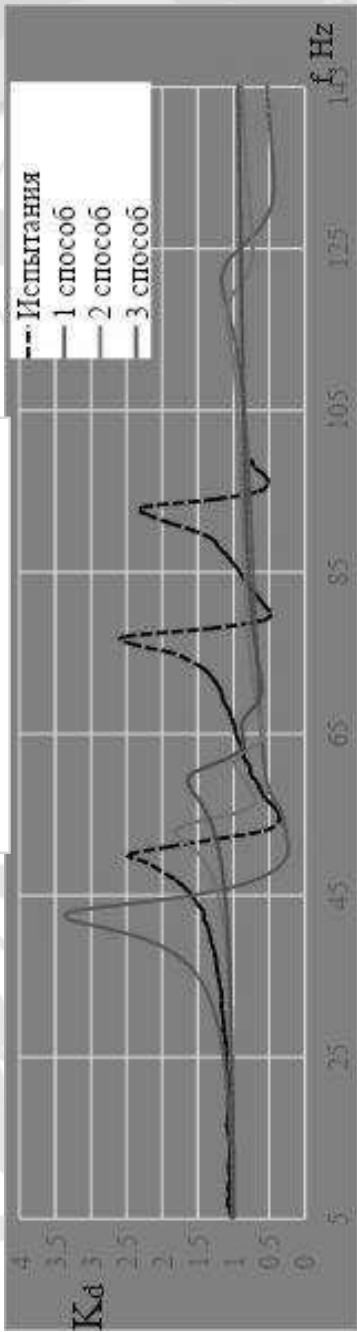
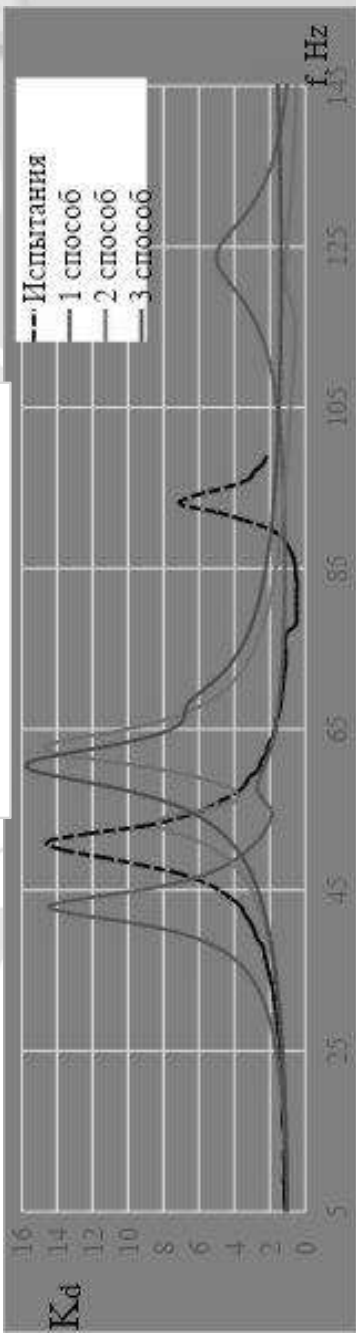


Рис. 17. АЧХ для точки №3



Внешнее воздействие – механический удар

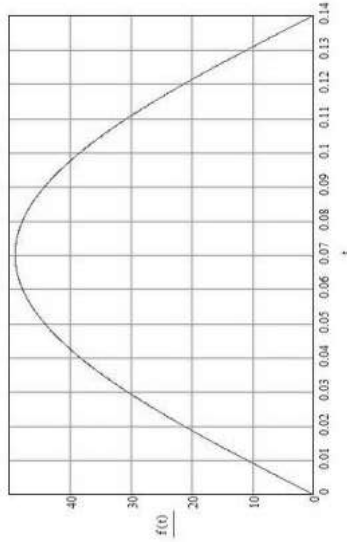


Рис. 18. Внешний вид функции мех. удара

Характеристики мех. удара:

Пиковое ударное ускорение: 49 м/с (5g)

Длительность действия: 0,14 с.

$$f(t) = 49 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{0,14} \cdot t\right)$$

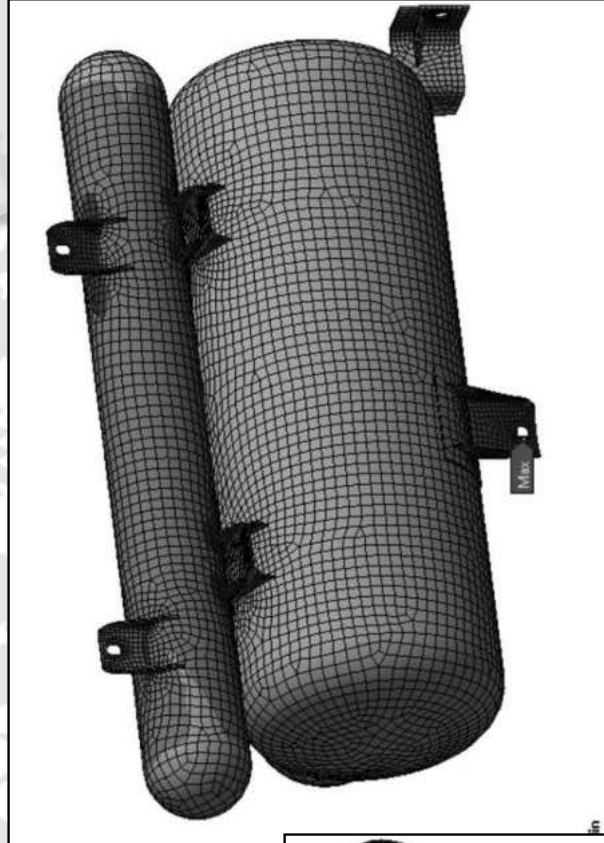
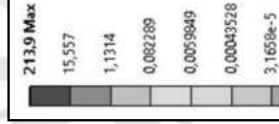


Рис. 19. Распределение напряжений (МПа) в блоке



Рис. 20. Распределение перемещений (мм) в блоке

Результаты расчета

1 способ:

$$\sigma_{\max 1} = 210,7 \text{ МПа}$$

$$\varepsilon_{\max 1} = 0,56 \text{ мм}$$

2 способ:

$$\sigma_{\max 2} = 213,9 \text{ МПа}$$

$$\varepsilon_{\max 2} = 0,57 \text{ мм}$$

3 способ:

$$\sigma_{\max 3} = 207 \text{ МПа}$$

$$\varepsilon_{\max 3} = 0,54 \text{ мм}$$

Внешнее воздействие – случайная вибрация

Характеристики воздействия:

Параметр нагрузки	Значение			
Диапазон частот Δf, Гц	10-30	30-100	100-200	200-300
	0,0025	0,0057	0,0033	0,0022
	2,7225	6,2073	3,5937	2,3958

$$PSD = \sigma_m^2 \cdot \hat{S}(f), m = x, y, z$$

Результаты расчета:

№ кроншт.	Расчетные характеристики			
1				
2				
3				
4				



Рис. 21. Распределение перемещений (мм) в блоке

Внешнее воздействие – виброудар

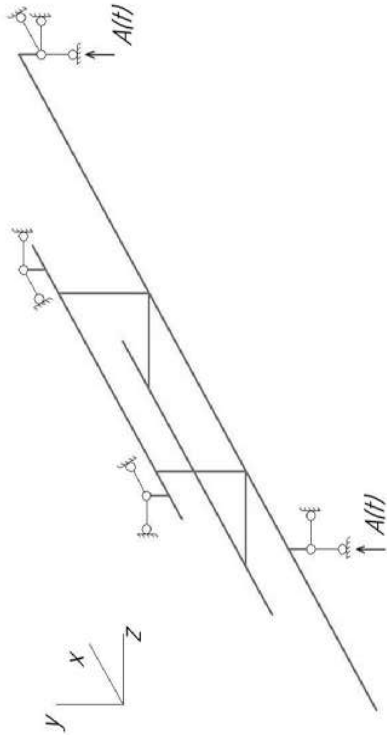


Рис. 22. Схема нагружения

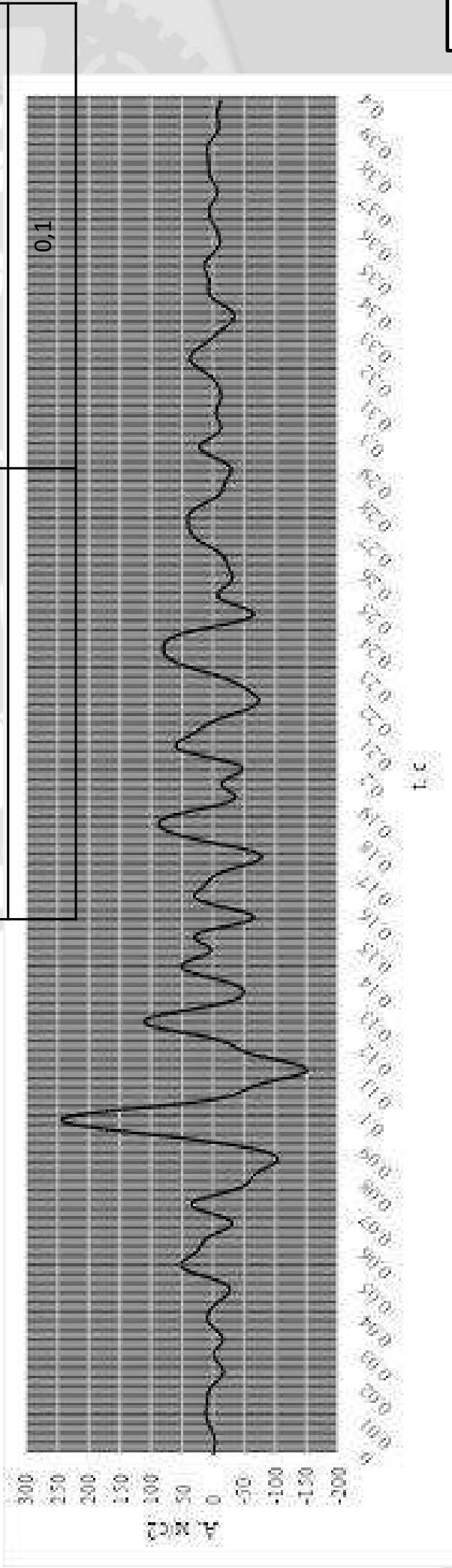


Рис. 23. Функция виброудара

Внешнее воздействие – виброудар



Рис. 24. Распределение перемещений (мм)

Результаты расчета:

1 способ:

$$\sigma_{\max 1} = 5073,5 \text{ МПа}$$

$$\epsilon_{\max 1} = 10,3 \text{ мм}$$

2 способ:

$$\sigma_{\max 2} = 2085,8 \text{ МПа}$$

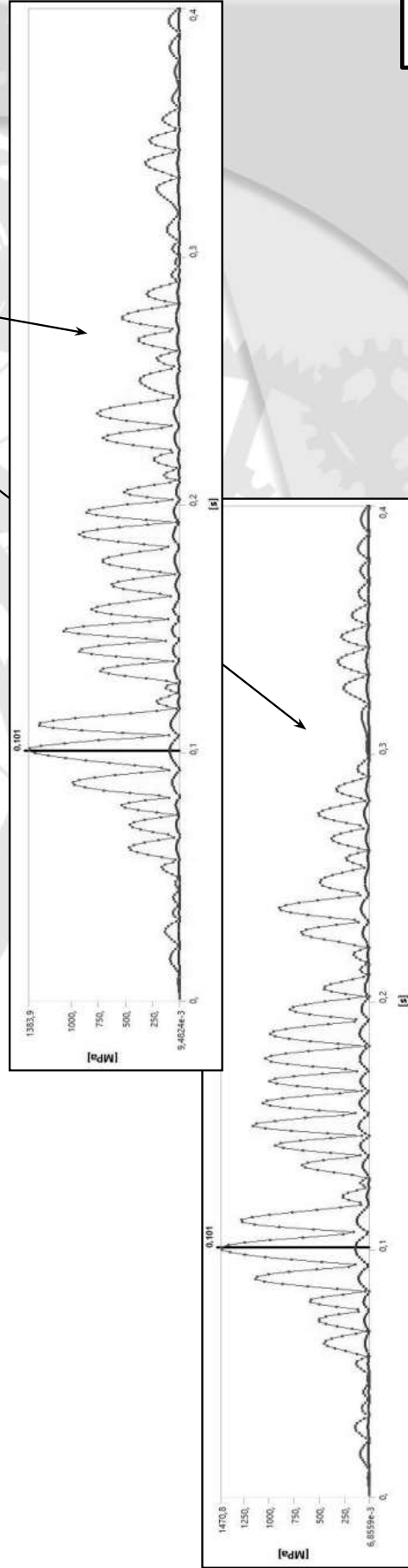
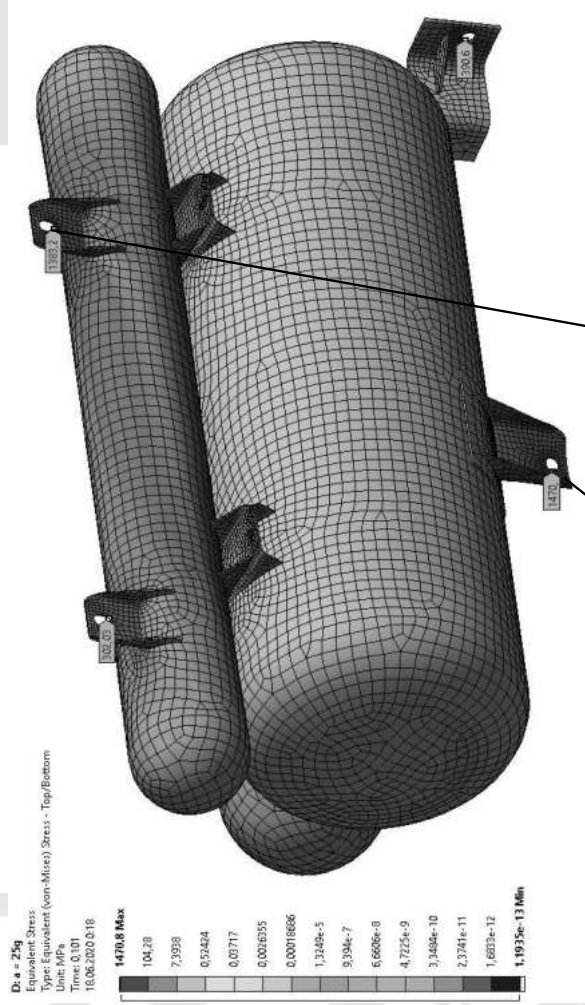
$$\epsilon_{\max 2} = 4,355 \text{ мм}$$

3 способ:

$$\sigma_{\max 3} = 1470,8 \text{ МПа}$$

$$\epsilon_{\max 3} = 3,476 \text{ мм}$$

Рис. 25. Распределение напряжений (МПа)



Заключение

В работе проведен анализ научной информации, поиск методов и программ по изучаемой теме. На основании этого определена цель работы и сформулированы задачи для её реализации.

Были обработаны данные физико-механического эксперимента, создана конечно-элементная модель объекта исследования, проведен расчет модели на механический удар, случайную вибрация и виброудар на различных этапах эксплуатации изделия.

В ходе построения конечно-элементной модели было учтено взаимодействие «жидкость – конструкция» и проведен сравнительный анализ результатов расчета для трех способов моделирования охлаждающей жидкости.

Проанализировав результаты расчета, было принято решение, что конструкция блока емкостей нуждается в доработке. Данная работа послужит основой для дальнейших исследований и модернизации активной системы охлаждения летательных аппаратов.

На данный момент, по внесенным рекомендациям были приняты следующие решения: увеличить толщину кронштейнов с 1 до 2 мм; сделать перекомпоновку блока емкостей путем исключения консольно-закрепленной емкости №2 из блока.