



МГТУ имени Н.Э. Баумана
Аэрокосмический факультет
Студенческая научная весна



***Разработка системы акустического
нагружения массивом электродинамических
излучателей***

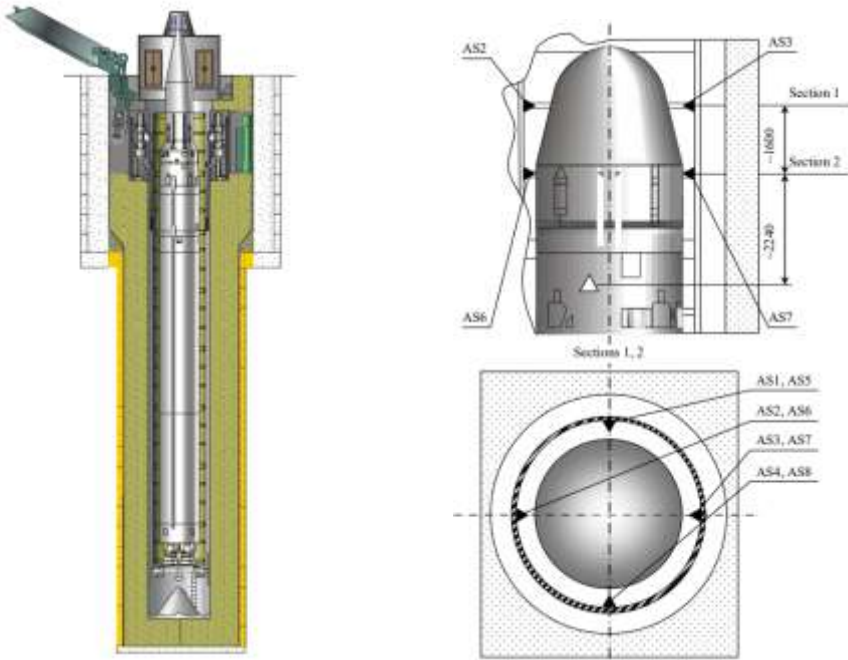
Выполнил: студент гр. АК2-122, Барашков М.С.

Руководитель: ст. преп. Хамидуллин Р.К.

Постановка проблемы

В процессе эксплуатации РКТ возникают два основных вида акустического нагружения, требующих экспериментальной отработки.

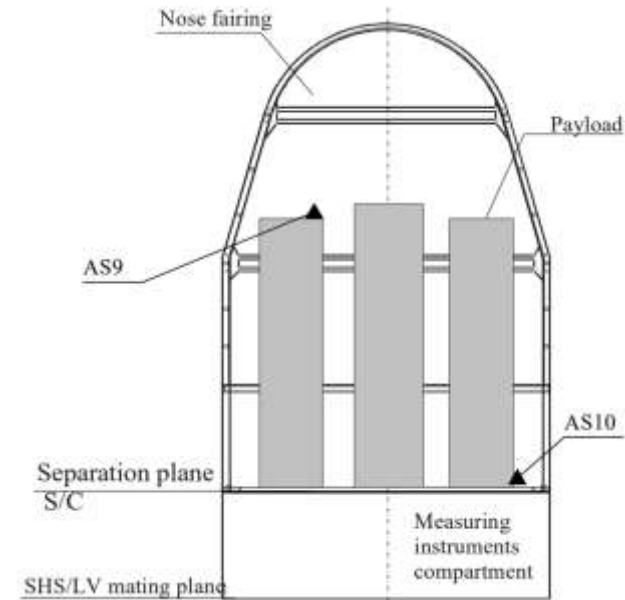
1. От двигательной установки



Суммарный уровень акустического давления

- на полезной нагрузке **148 дБ**;
- Максимальный уровень на срезе ШПУ - **160 дБ [3]**.

2. От турбулентного пограничного слоя (при максимальном скоростном напоре)



Суммарный уровень акустического давления

на полезной нагрузке 134.7 дБ; [3].

Постановка задачи

Разработать систему акустического нагружения массивом электродинамических излучателей для контролируемого воссоздания в лабораторных условиях *интенсивного акустического поля*, действующего на объект испытаний в заданном диапазоне частот.

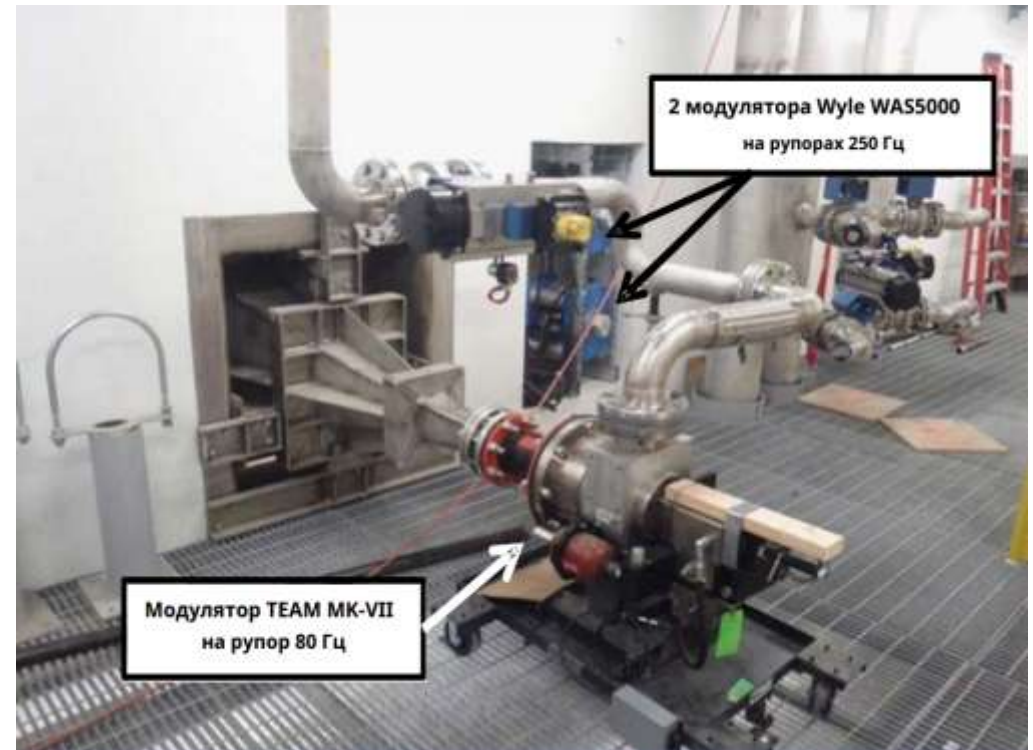
Актуальность задачи

В последние годы особенно возросла важность задач, относящихся к прочности авиационных конструкций при акустическом нагружении, в связи со все более интенсивным *увеличением скорости полета, веса и габаритов конструкций*.

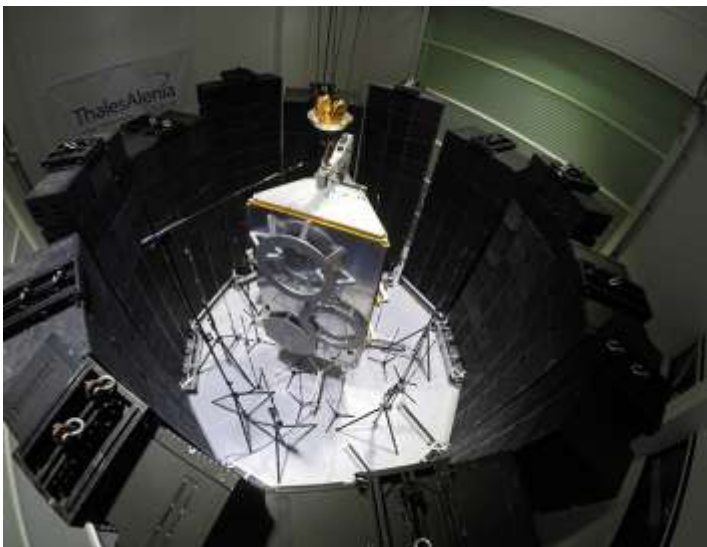
Методы экспериментальной отработки акустического нагружения

Реверберационные камеры

Принцип работы заключается в стравливании через сопло в камеру большого объема газа, при этом кинетическая энергия газа, истекающего из рупора, преобразуется в акустическую энергию.



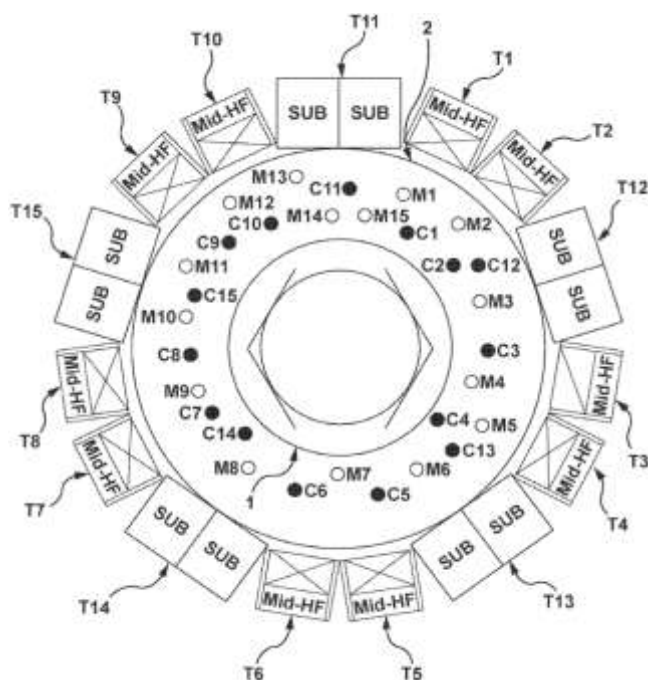
Реверберационная камера NASA (США, штат Огайо) [1]



Электродинамические излучатели (испытания с прямым полем)

Достоинства - дешевизна, простота эксплуатации и возможность создания практически любого спектра частот.

Недостатки - ограниченность объема, в котором можно создать равномерные уровни акустического давления и ограниченное время работы оборудования (требуется делать перерывы для охлаждения).



Нормативные документы

Основная цель испытаний прямым полем - подвергнуть испытуемый объект воздействию заданного уровня акустического давления (с заданным спектральным профилем) в течение заданного периода времени.

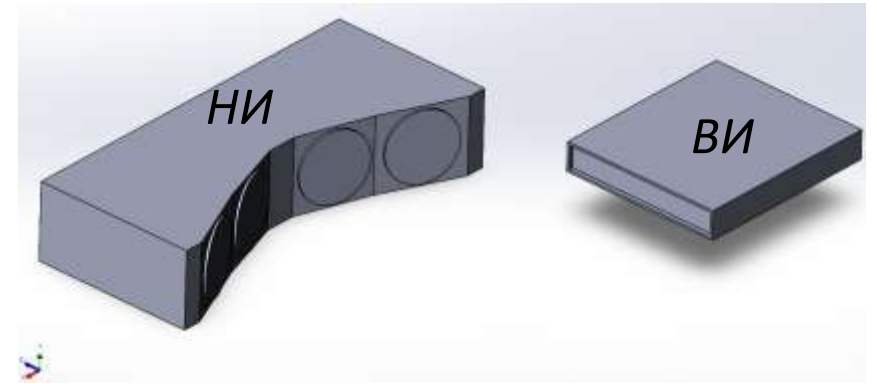
Нормативный документ	Определяет
ГОСТ 30630.1.5-2013	Общие требования к акустическим испытаниям (время проведения, способ создания нагружения)
ГОСТ 12.1.025-81	Требования к реверберационным камерам, размеры помещений, места расположения микрофонов
ГОСТ 12.1.024-81	Проведение акустических испытаний в заглушенных камерах (со звукопоглощающими стенками)
NASA-HDBK-7010	Рекомендуемое оборудование, необходимое для проведения испытаний прямым полем

Проверка характеристик излучателей

№	Описание эксперимента	Суммарный уровень звукового давления, дБ	
		40 мм от излучателей	1000 мм от излучателей
1	Включены: НИ	139,0	133,6
2	Включены: ВИ	145,0	131,3
3	Включены: НИ, ВИ	НИ – 139,5 ВИ - 144,9	135,2

НИ – низкочастотный излучатель

ВИ – высокочастотный излучатель



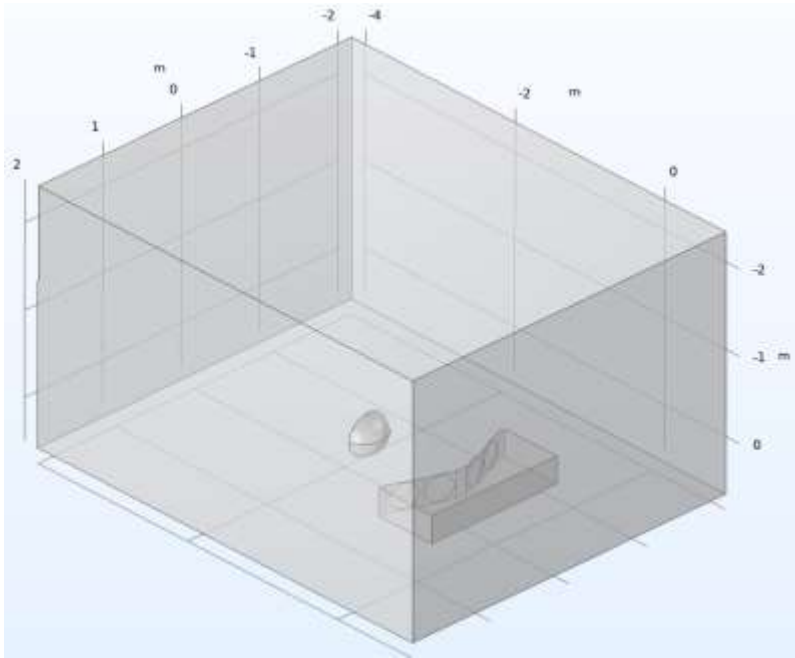
Основные отличия излучателей большой мощности:

- наличие охлаждения;
- кевларовый диффузор;
- титановый фланец;
- высокое акустическое давление в требуемом спектре частот;

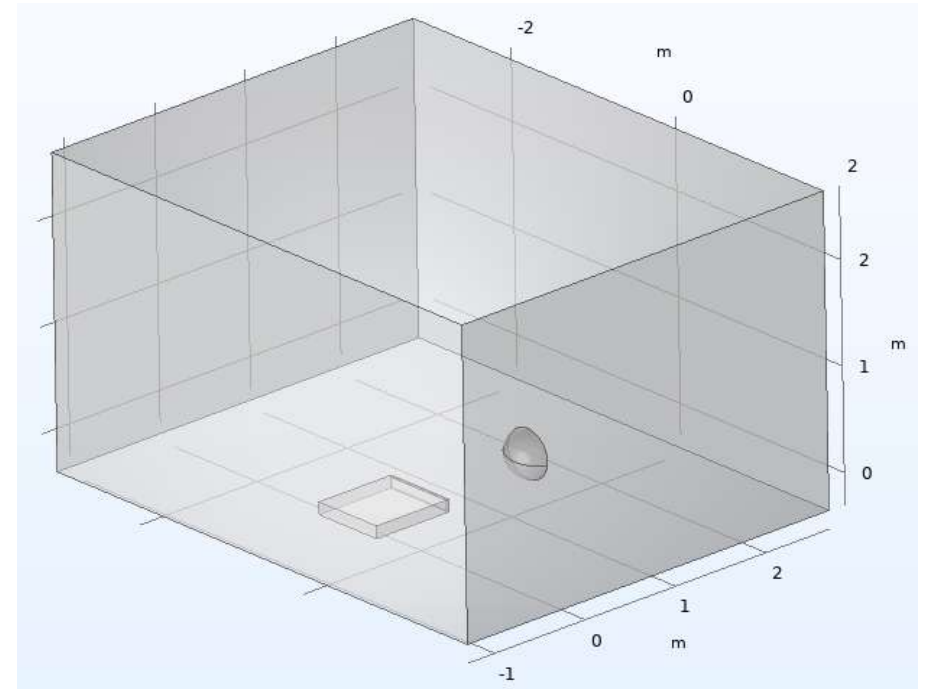
Постановка эксперимента

Для проведения эксперимента использовалась комната размером 4х5х6 м, стенки которой выполнены из звукопоглощающих панелей.

Объект исследований был выполнен в виде части сферы, изготовленной из алюминиевого сплава с внешним радиусом 247 мм и толщиной 3 мм.



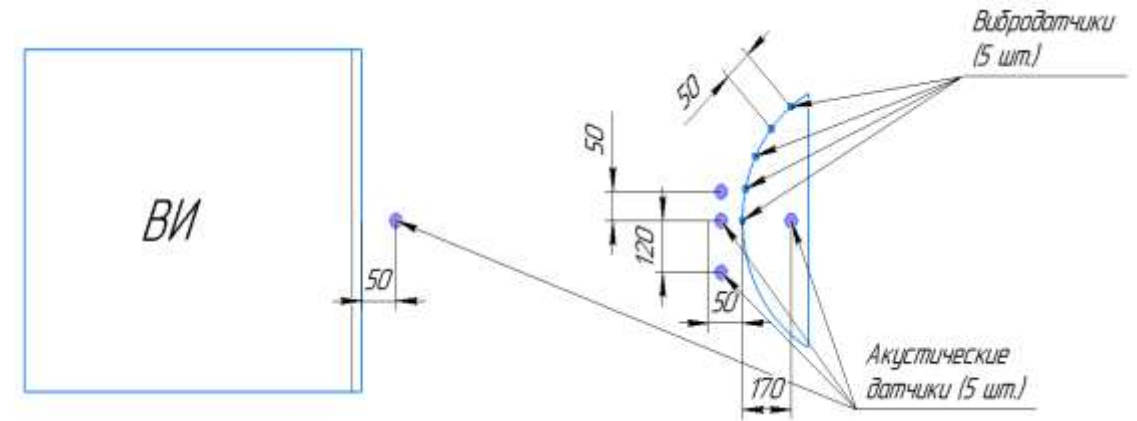
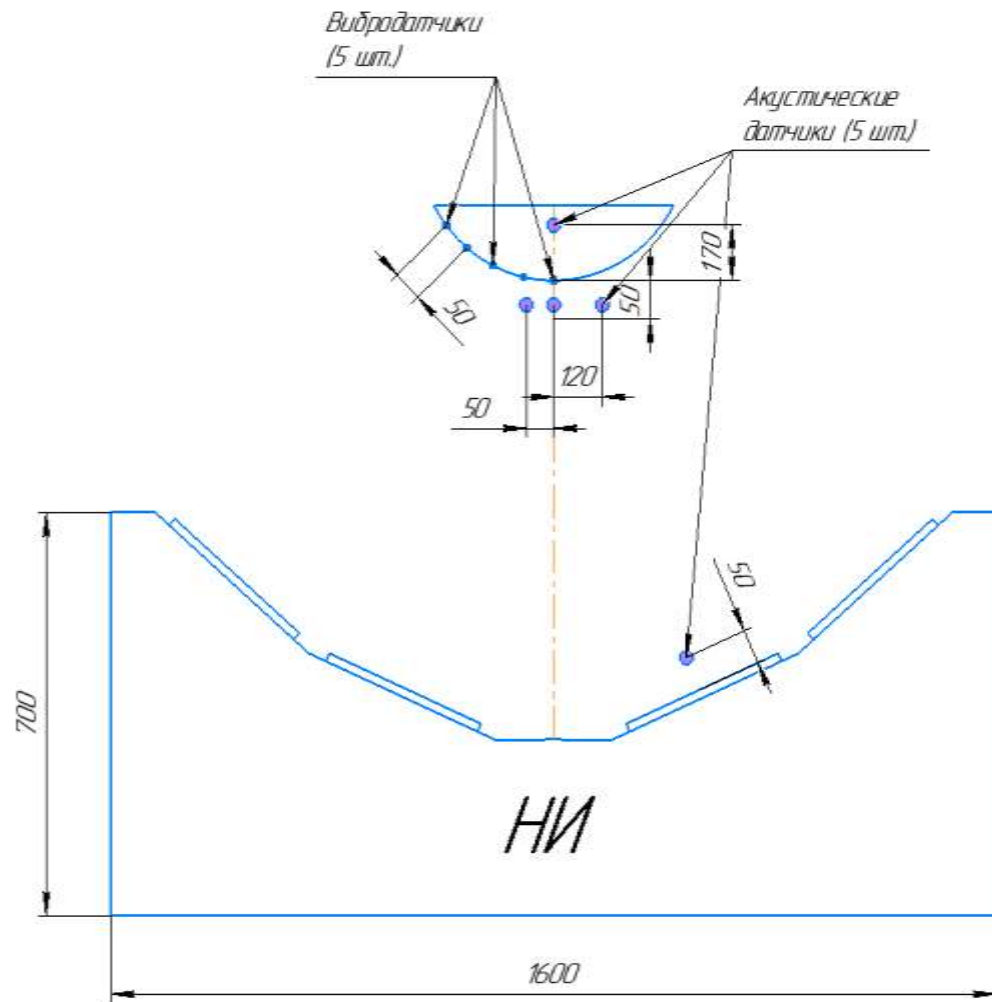
Конфигурация акустической камеры с излучателем НЧ и объектом испытаний



Конфигурация акустической камеры с излучателем ВЧ и объектом испытаний

Постановка эксперимента в акустической камере

расположение вибродатчиков и микрофонов

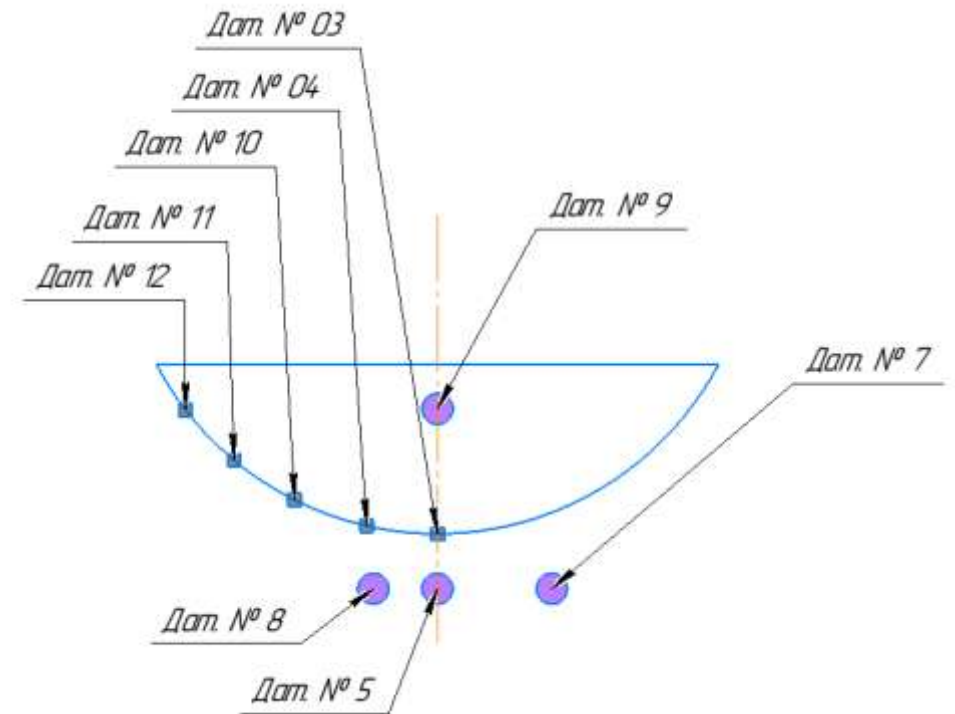


Расположение датчиков на объекте испытаний

В качестве регистрирующего устройства использовался микрофонный конденсаторный капсюль М-201 с предусилителем Р200.

Основные характеристики регистрирующего оборудования

№	Параметр	Значение
1	Диапазон частот	2 - 40000 Гц
2	Чувствительность	14 мВ/Па
3	Коэффициент передачи	-0,03 ... 0,03 дБ
4	Габариты	12,8 мм x 125 мм.



Обработка результатов эксперимента

1. Импортирование в программный комплекс результатов эксперимента.
2. Определение частоты дискретизации по формуле

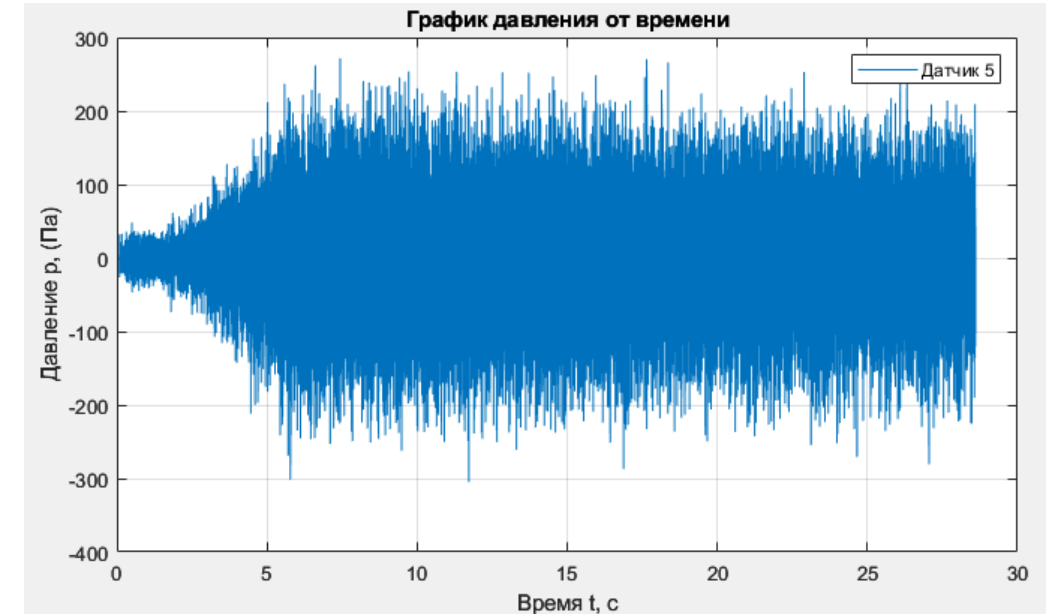
$$f_{discr} = \frac{L}{t},$$

где L – длина массива; t – время записи

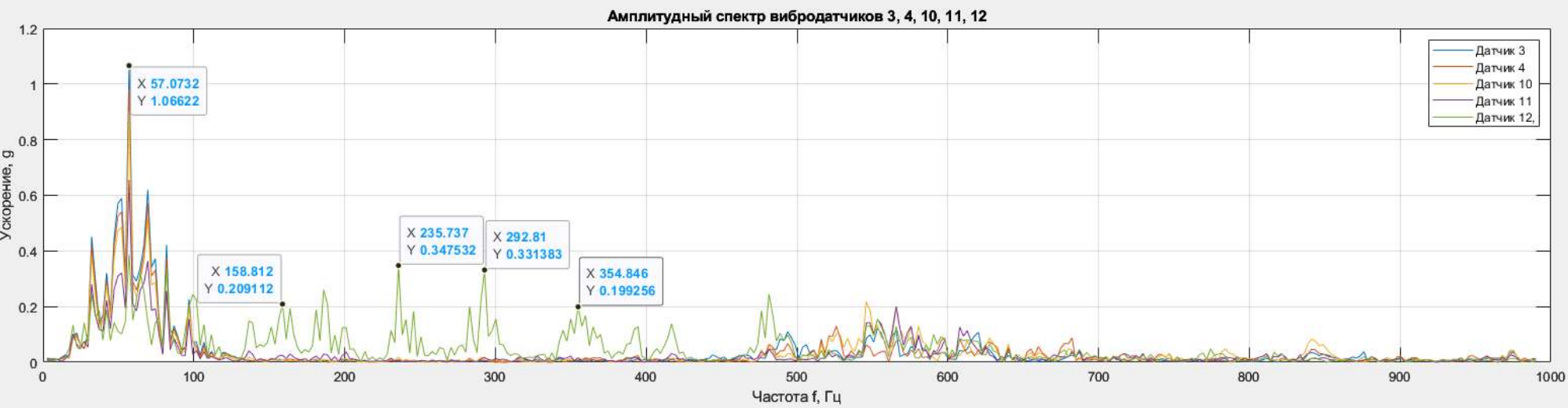
3. Переход от временной записи к частотный с помощью алгоритма быстрого преобразования Фурье.
4. Показания акустических датчиков были получены в Па, для перевода в дБ использовалась формула

$$L_{дБ} = 20 \log \left(\frac{p}{p_0} \right).$$

где p - акустическое давление,
 $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ – опорное давление.

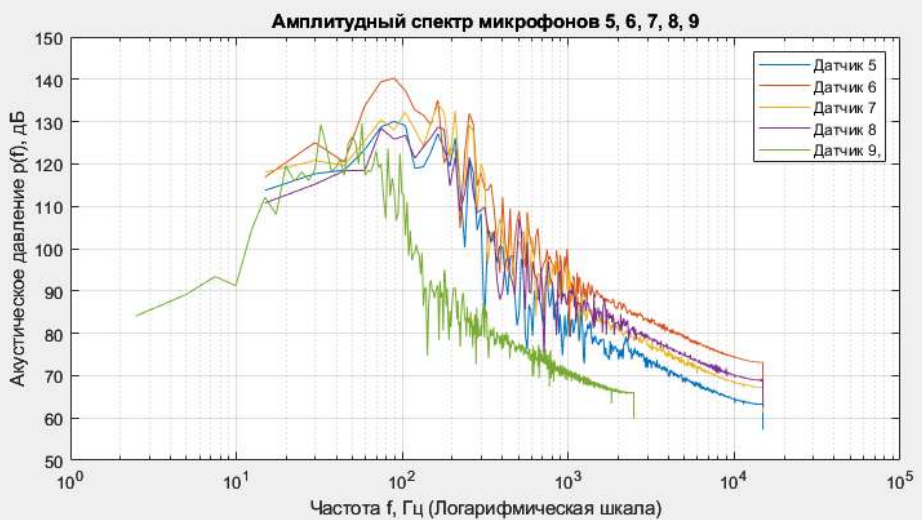
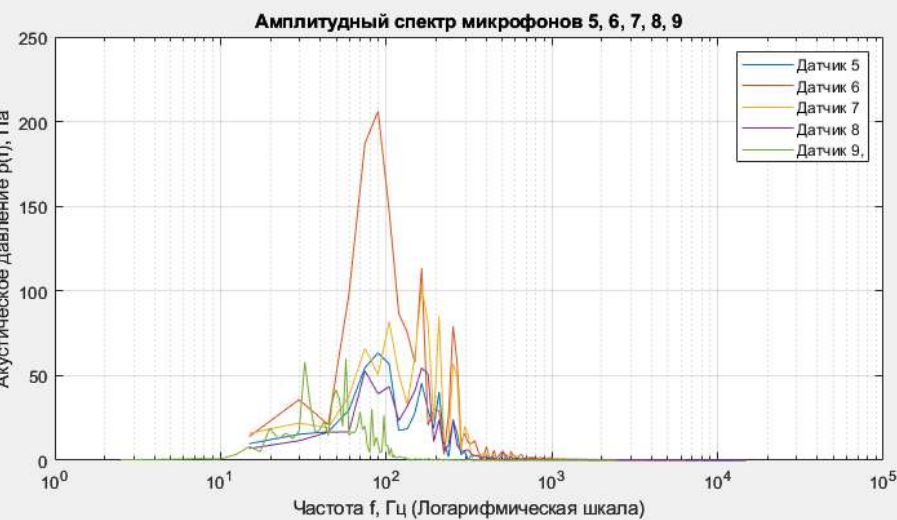


Результаты эксперимента с излучателем НЧ

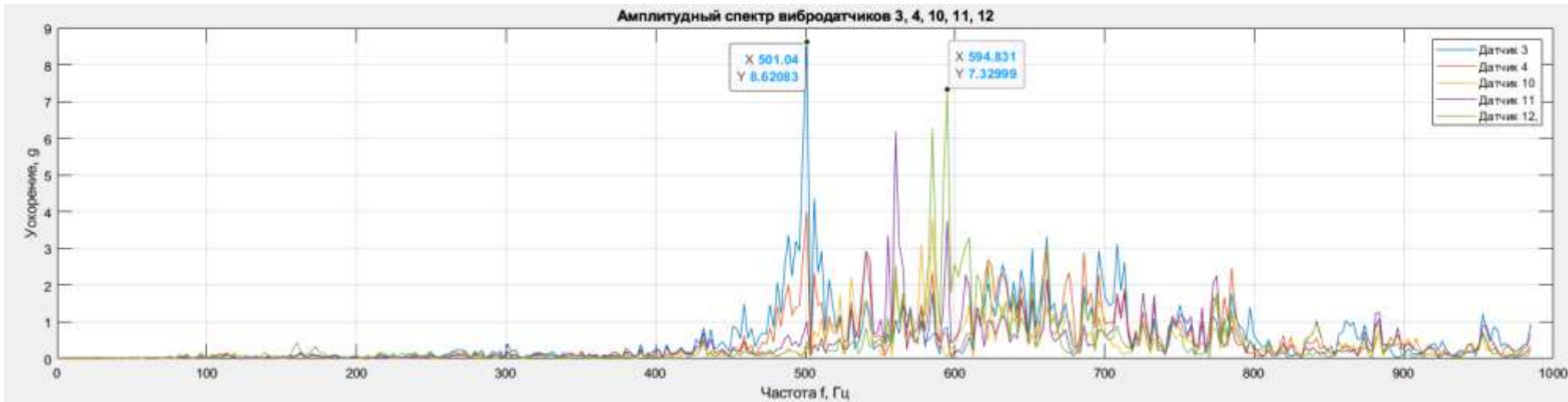


Собственные частоты колебаний объекта испытаний

№ собственной частоты	Частота, Гц
1	58.12
2	154.01
3	286.37
4	450.96
5	644.36
6	863.91

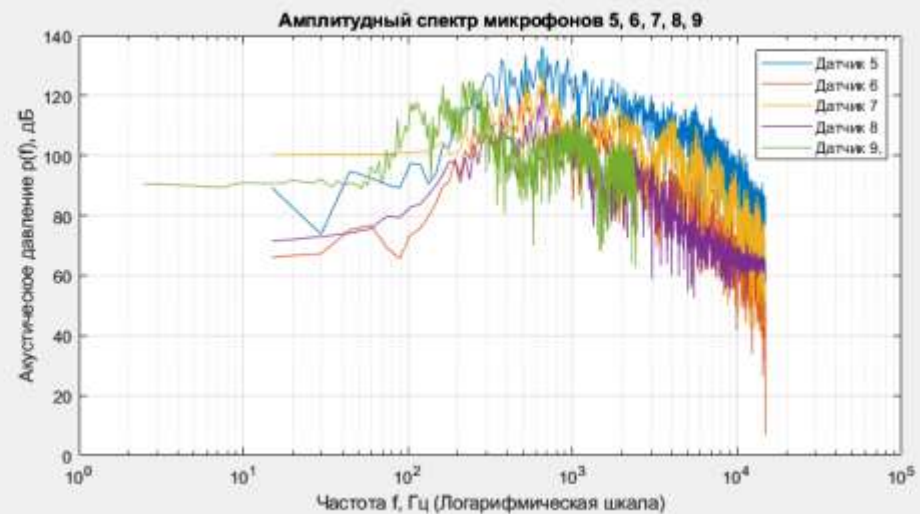
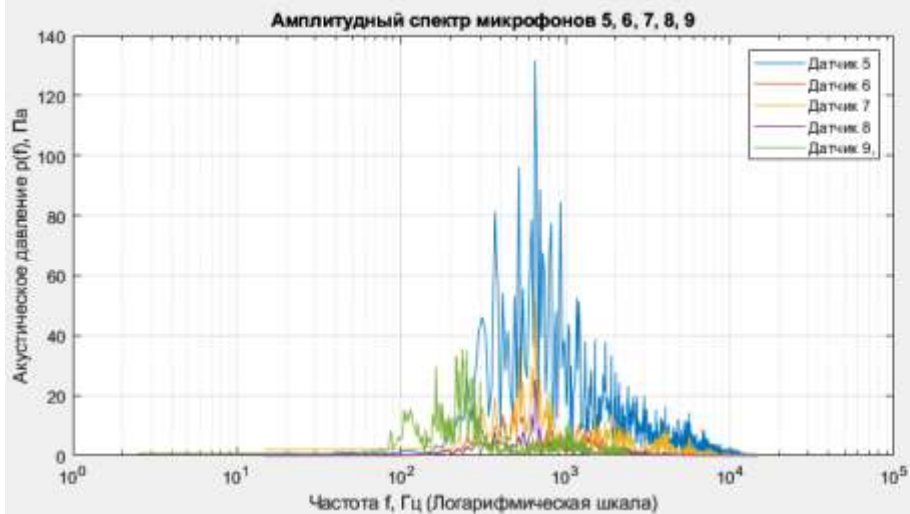


Результаты эксперимента с излучателем ВЧ



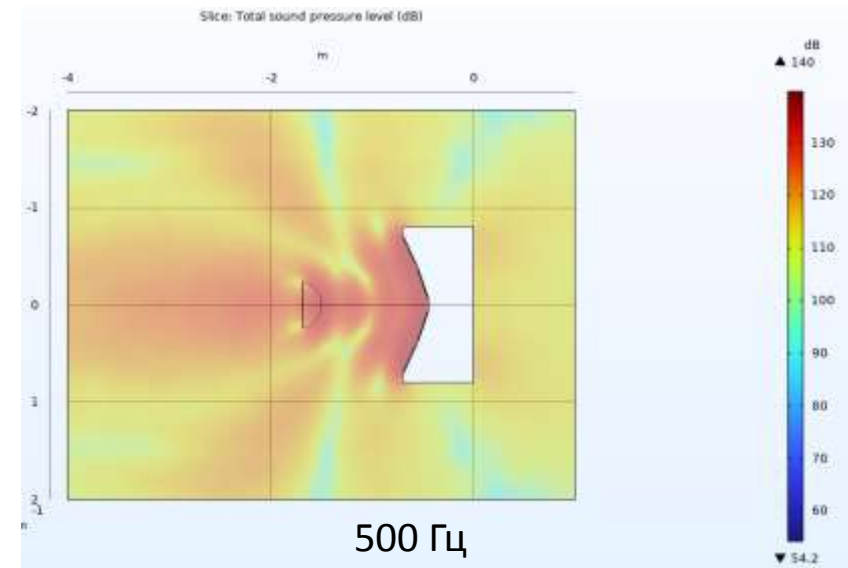
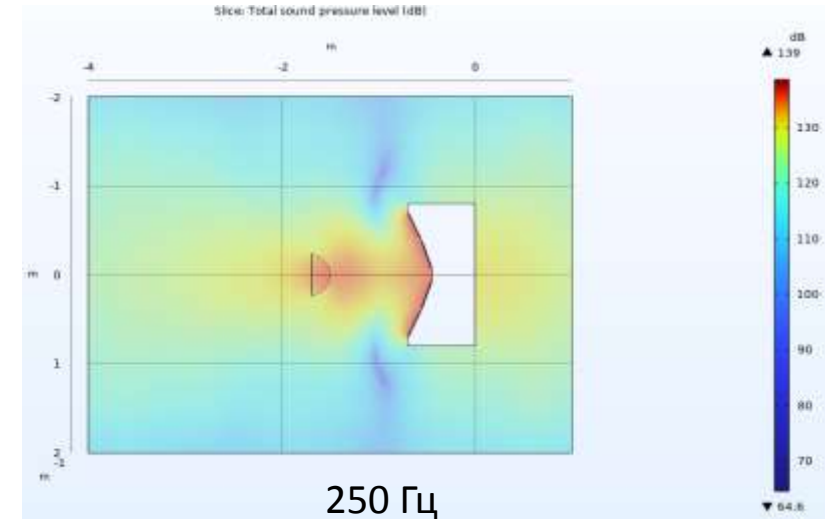
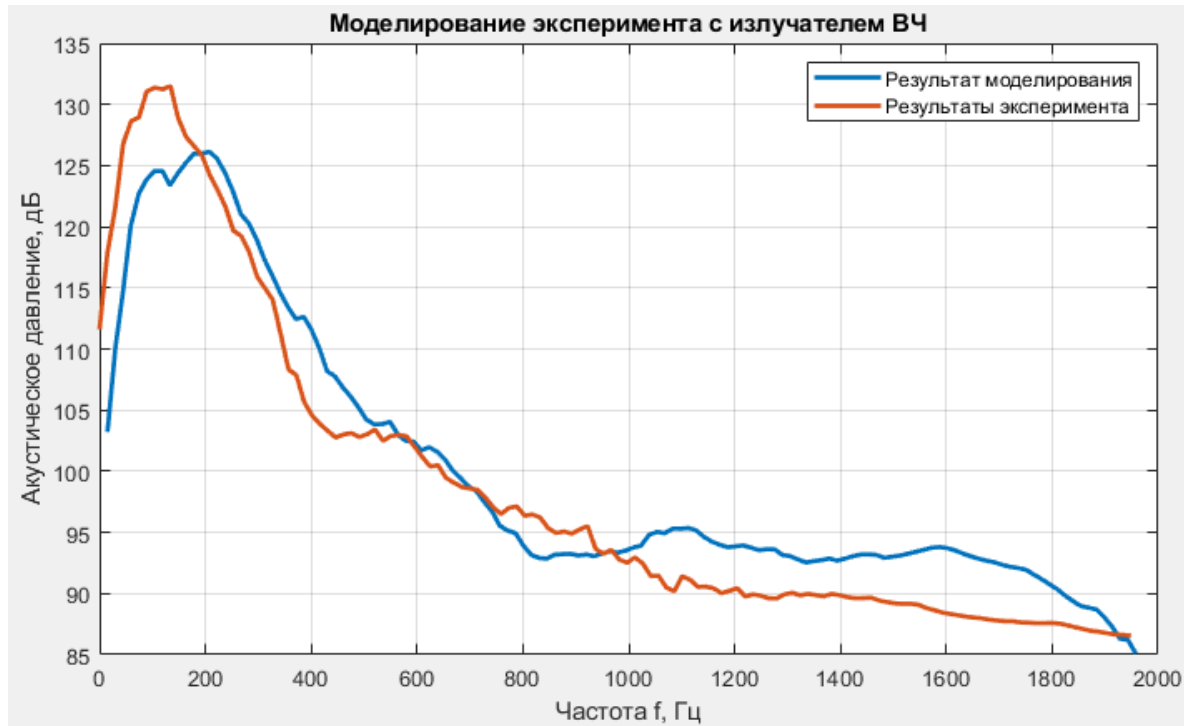
Собственные частоты колебаний объекта испытаний

№ собственной частоты	Частота, Гц
1	58.12
2	154.01
3	286.37
4	450.96
5	644.36
6	863.91

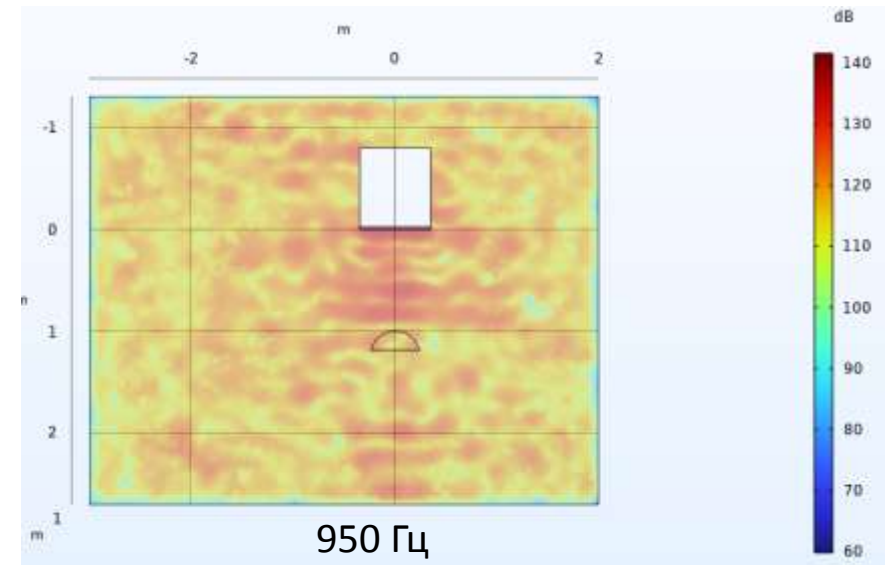
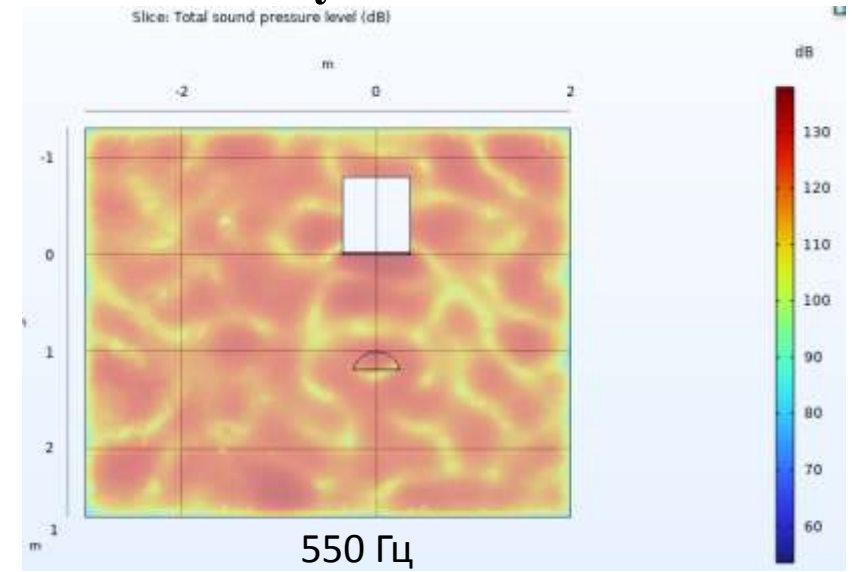
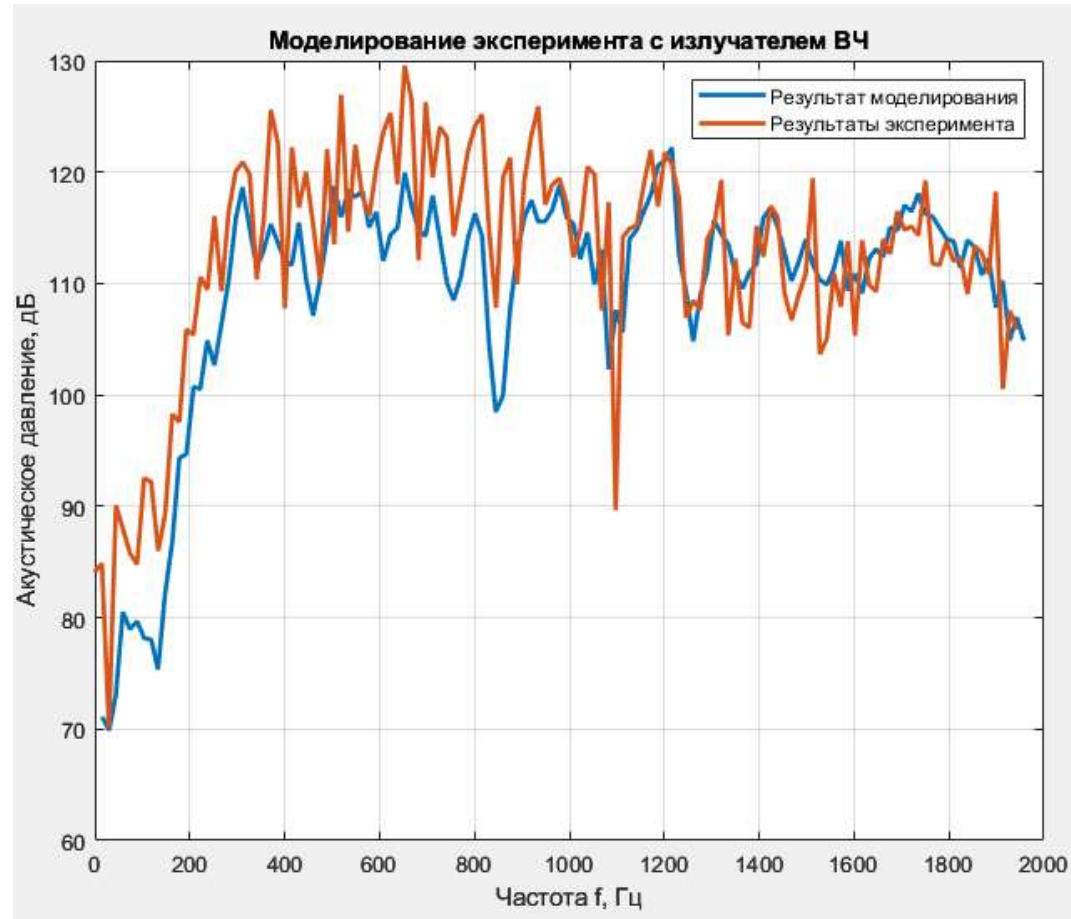


Результаты эксперимента КЭ моделирования с излучателем НЧ

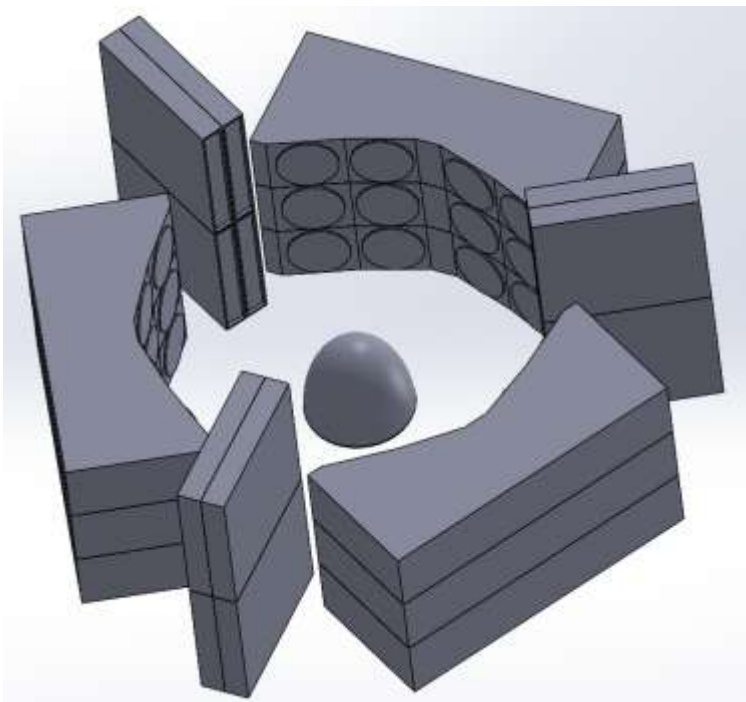
Для определения характеристик распространения звуковых волн при разных частотах был проведен параметрический расчет. Диапазон частоты составлял от 20 до 2000 Гц.



Результаты эксперимента КЭ моделирования с ВЧ излучателем

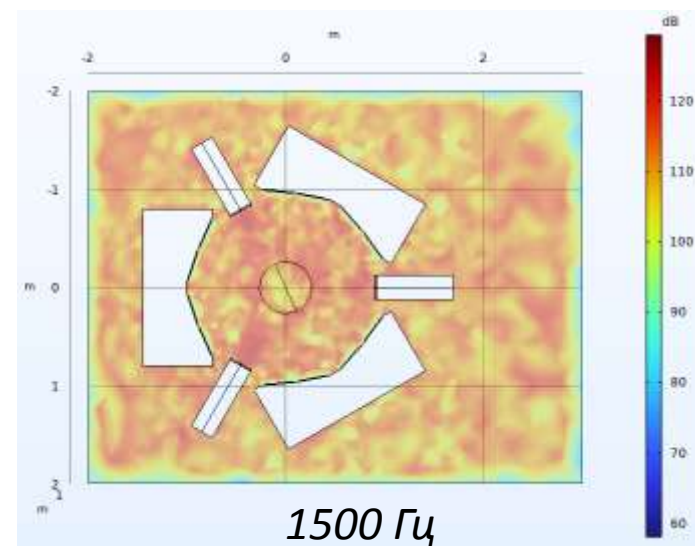
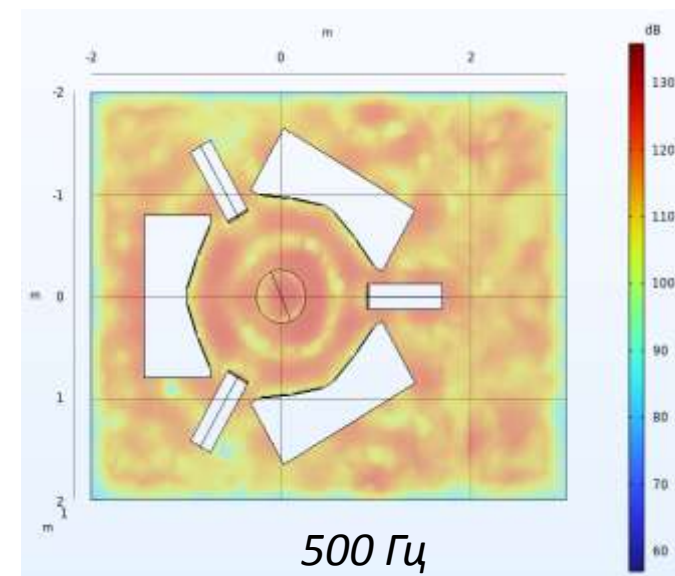


Система акустического нагружения массивом излучателей

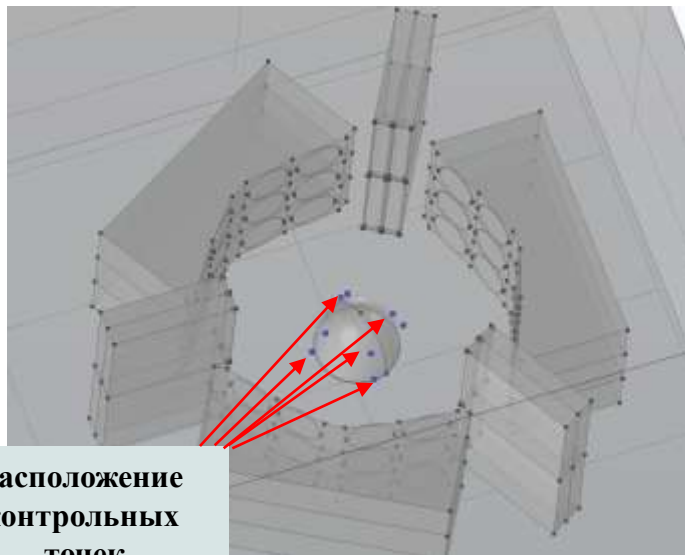


Конфигурация акустической камеры:

- НИ – 9 шт.
- ВИ – 12 шт.
- усилители – 21 шт.

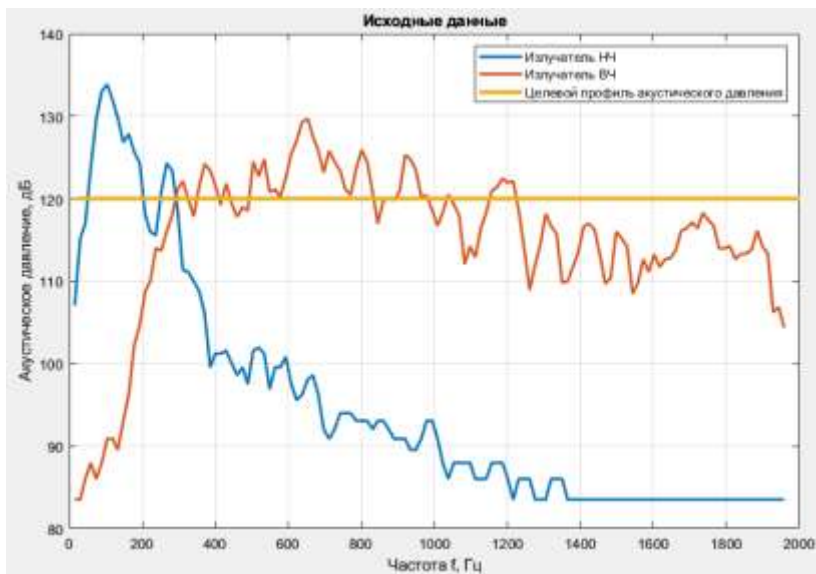


Результаты расчета

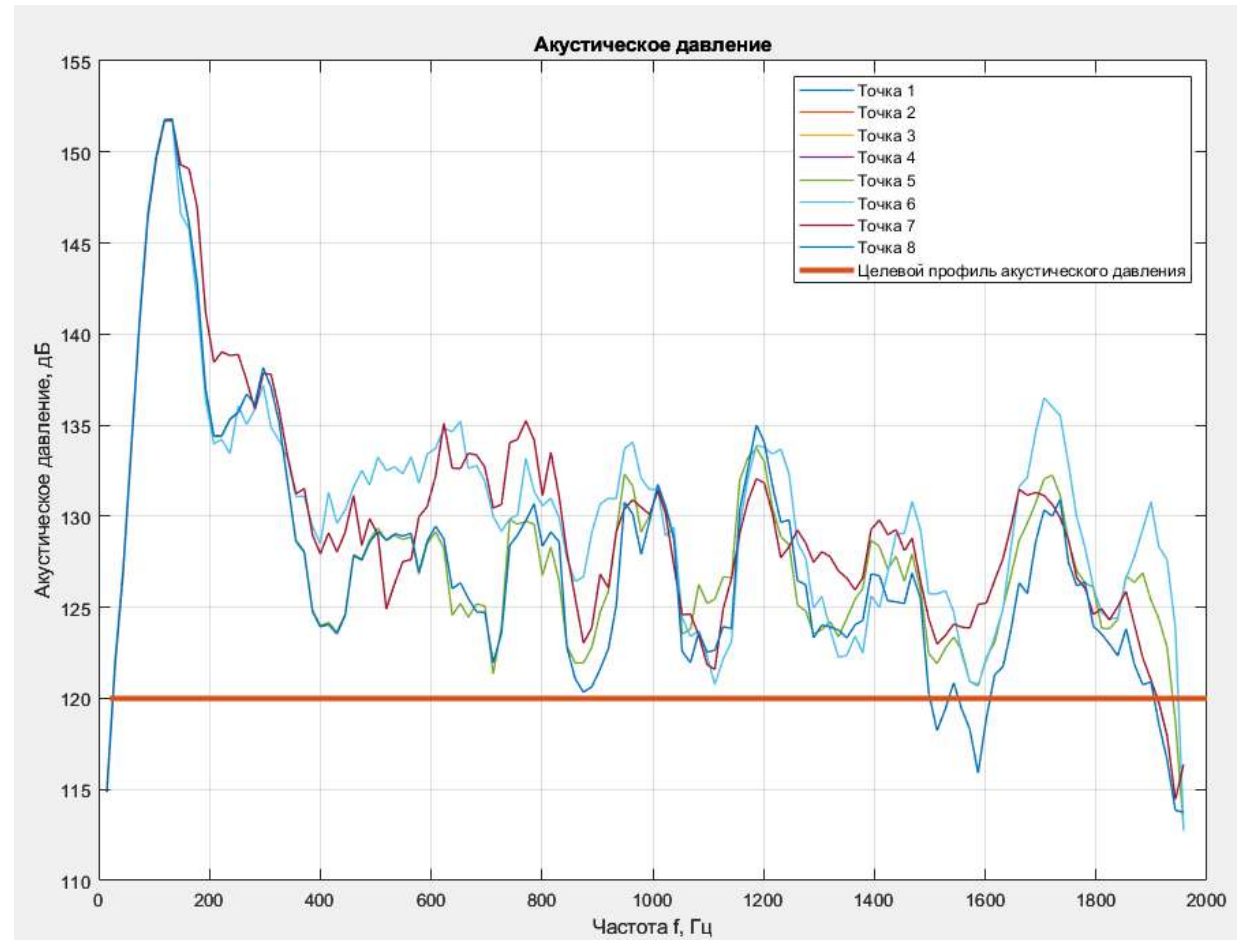


Расположение
контрольных
точек

Распределение заданного акустического давления в
зависимости от частоты



Спектр акустического давления в контрольных
точках



Вывод

В результате работы составлен прототип акустической камеры для создания уровня акустического давления 120-145дБ на основе уже приобретенного АО «ВПК «НПО машиностроения» оборудования и сделан следующий вывод:

- Использование сборок массивов электродинамических излучателей целесообразно для создания акустического нагружения;
- Форма излучателя НЧ неудобна для составления конфигурации акустической камеры и существенно ограничивает рабочий объем камеры.
- На низких частотах достигаются недостаточные уровни акустического давления (рассматривается замена акустических испытаний вибрационными на малых частотах);
- Для проведения акустических испытаний требуется увеличение количества излучателей помимо двух уже купленных ВЧ и НЧ излучателей.

Список литературы

- [1] The Development of the Acoustic Design of NASA Glenn Research Center's New Reverberant Acoustic Test Facility William O. Hughes, Mark E. McNelis, Aron D. Hozman, and Anne M. McNelis Glenn Research Center, Cleveland, Ohio, 2011 – 19 с.
- [2] C.P. Lubert, From Sputnik to SpaceX: 60 Years of Rocket Launch Acoustics, Acoust. Today. 2018. – 9 с.
- [3] П.Я. Носатенко, А.В. Бобров, М.Л. Баранов, А.Н. Шляпников Экспериментальное определение акустических нагрузок при пусках рН «Стрела» и расчётное определение режимов экспериментальной отработки выводимых космических аппаратов, ОАО «ВПК «НПО машиностроения», г. Реутов, Моск. обл., 2010 г. – 12 с.
- [4] Пат. WO 2022/126012 A1 International Patent – A hight output acjustic system for direct field acoustic testing. Оpubл. 13.12.2021 г. – 63 с.