



Исследования по разработке мощных источников звука для акустического нагружения авиационных конструкций

С.К. Ким, В.М. Костенко, Е.Е. Стегачёв

ФГУП ЦАГИ им. проф. Н.Е. Жуковского

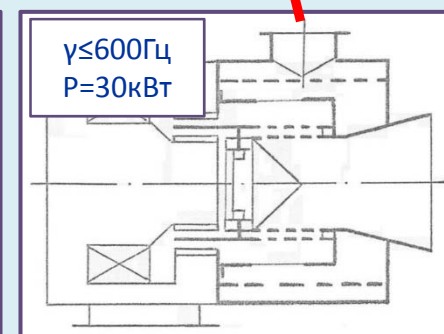
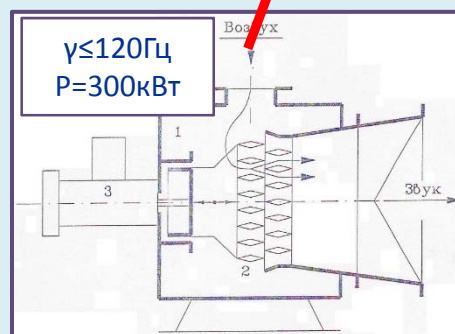
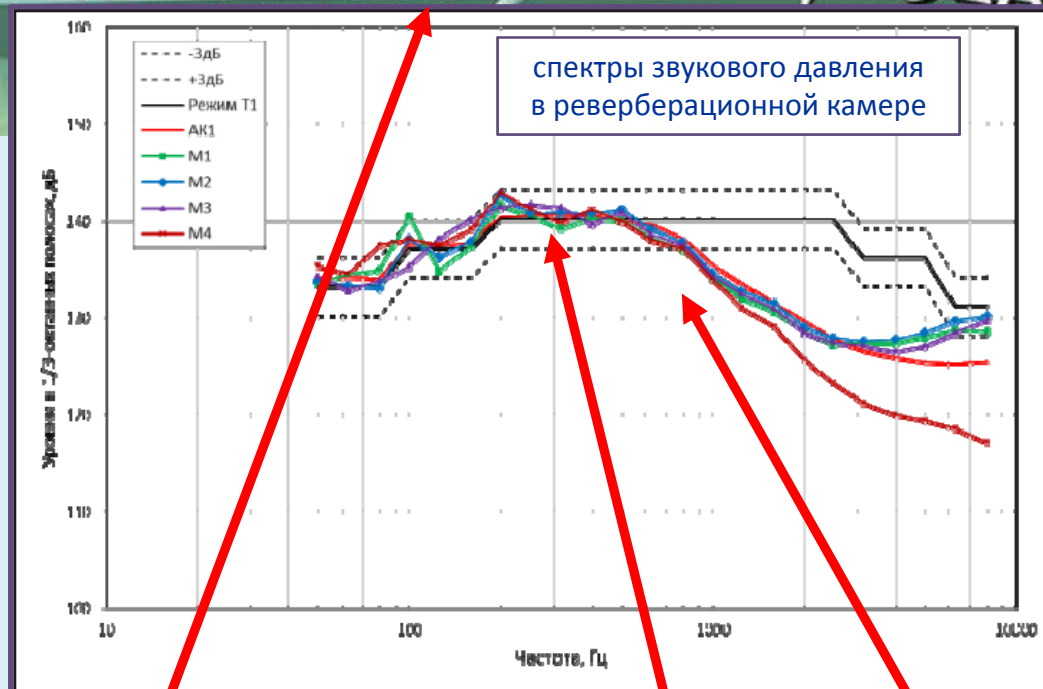
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

с 1950-х годов нагрузки ≥ 130 дБ



проекты NASP, НАХАFLY и TX-V,
показывают, что ожидаемые уровни
звукового давления в конструкции
гиперзвукового ЛА могут ≥ 170 дБ
(это больше, чем в программе “Буран”)

??? Как обеспечить
сертификационные испытания
в программах МС-21 и ПД-14
с широким использованием
композиционных материалов:
- п.п.25,571d АП-25;
- ГОСТ РВ 20.57.305-98;
и на перспективу?



импорт
 $\gamma \leq 1200$ Гц
 $P = 10$ кВт

Задача с 2015 года: разработать класс собственных отечественных высокочастотных генераторов!

ПОИСК КОНСТРУКТИВНОГО АНАЛОГА

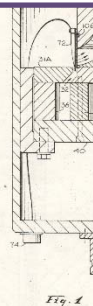
- анализ состояния разработок за рубежом
Wile, Ling, Nortrop (USA: 1967 год)



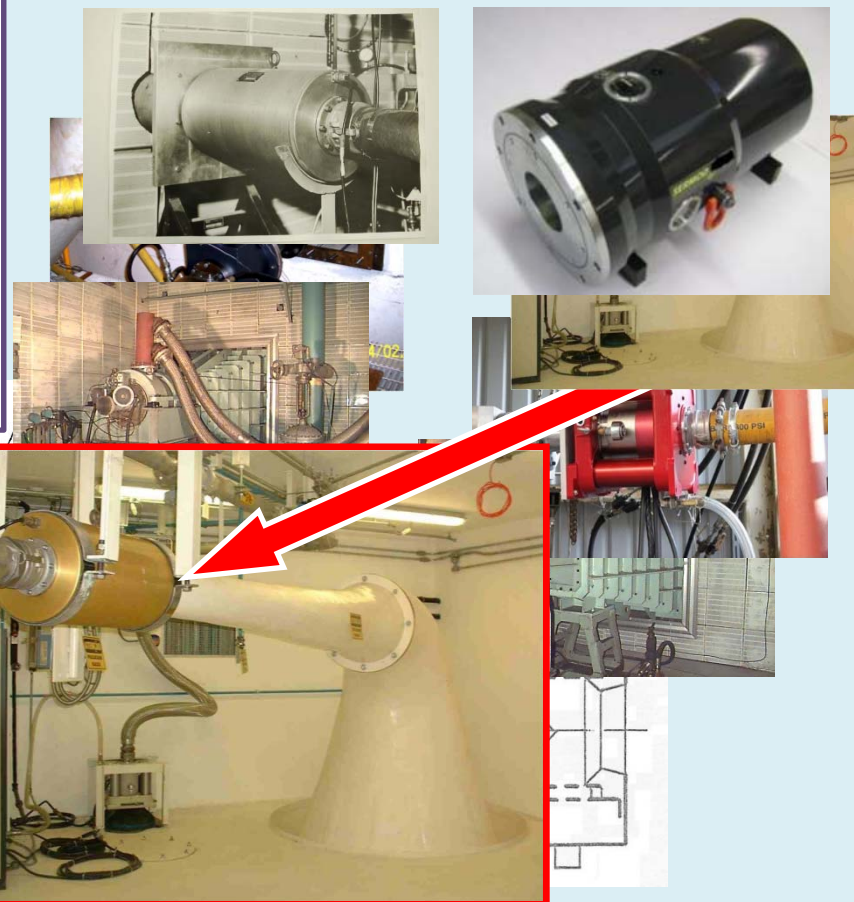
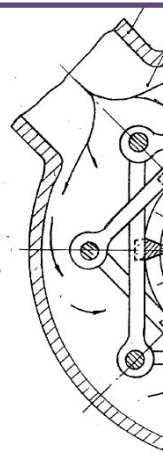
S.E.R.E.M.E. (France: настоящее время);

- анализ состояния разработок в России
ЦАГИ, СибНИА;
- на основании открытых источников проведены
патентные исследования по ГОСТ Р15.011-96
изучено более 2000 технических решений
за 30 лет, интерес к 25 охранным документам.

дозвуковой, звук
B06B3/02 – с пр
G10K7/00 – сир
G10K7/06 –
электродвигател
G10K9/00 – ус
мембраны или п
G10K9/13 – с ис
G10K15/00 – а
рубрикам;
G10K15/08 – ус
H01F1/00 – ма
магнитным мат
свойств;
H01F1/032 – сод
H01F1/04 – мета
H01F1/053 – сод
H01F3/00 – серд
H01F3/14 – конс
H01F7/00 – маг
H01F7/02 – пост
H01F7/06 – элек

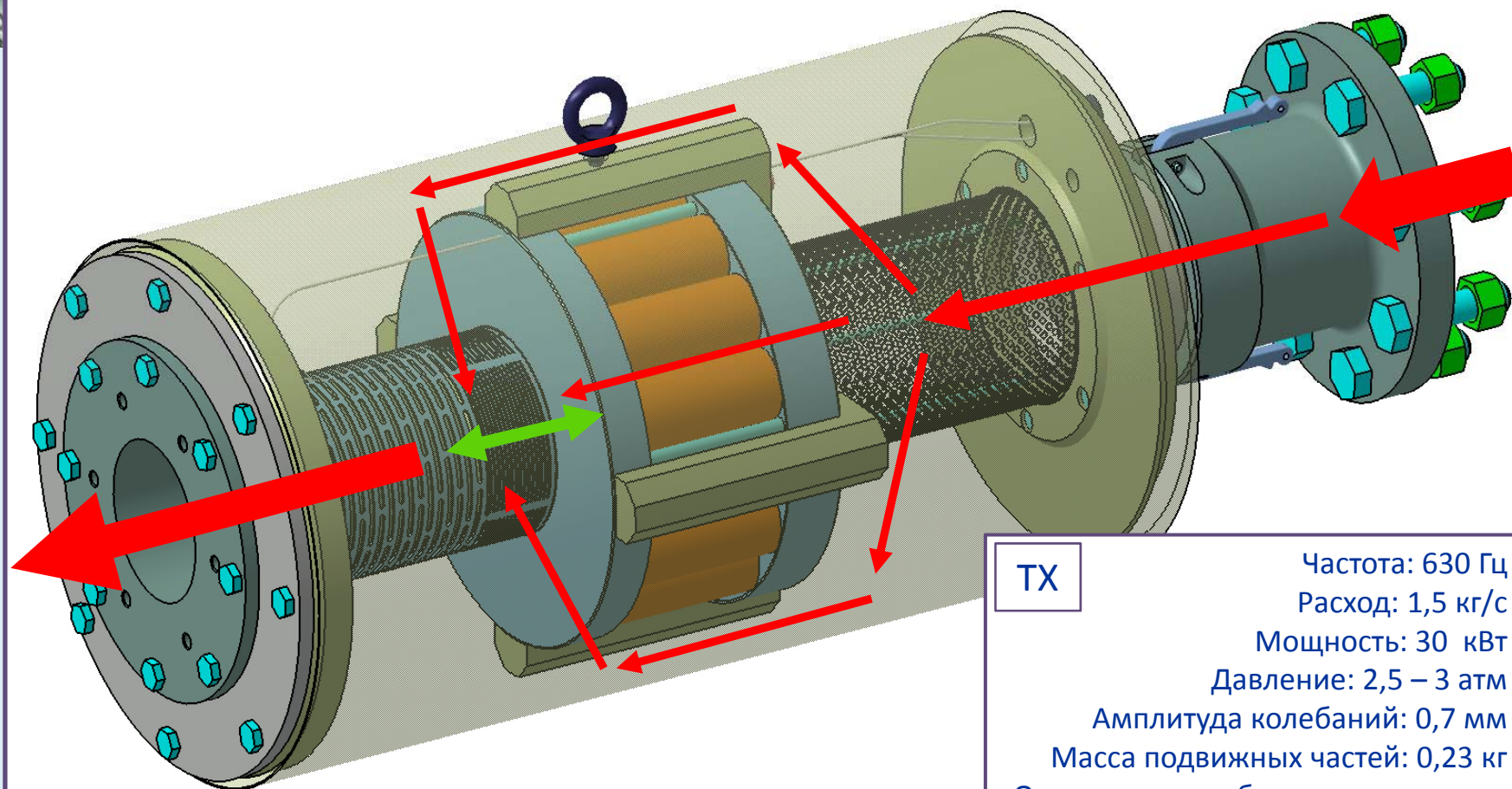


№ п/п	Наименование	Материал	Тип	Свойства
1	1.2.5.1	Швеллер	Электроника	Алюминевый
2	1.2.5.1	Швеллер	Электроника	Алюминевый
3	1.2.5.1	Швеллер	Электроника	Алюминевый
4	1.2.5.1	Швеллер	Электроника	Алюминевый
5	1.2.5.1	Швеллер	Электроника	Алюминевый
6	1.2.5.1	Швеллер	Электроника	Алюминевый
7	1.2.5.1	Швеллер	Электроника	Алюминевый
8	1.2.5.1	Швеллер	Электроника	Алюминевый
9	1.2.5.1	Швеллер	Электроника	Алюминевый



Вывод: в качестве базовой выбрана конструкция генератора, разработанного в ЦАГИ

ОРГАНИЗАЦИЯ ПОТОКА ГАЗА ВО ВНУТРЕННИХ ПОЛОСТЯХ ГЕНЕРАТОРА



ТХ

Частота: 630 Гц
Расход: 1,5 кг/с
Мощность: 30 кВт
Давление: 2,5 – 3 атм
Амплитуда колебаний: 0,7 мм
Масса подвижных частей: 0,23 кг
Охлаждение: набегающим потоком



Возвратно-поступательное движение модулирующего клапана



Направление движения воздушного потока

ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К РАЗРАБАТЫВАЕМОМУ УСТРОЙСТВУ

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Акустическая выходная мощность, не менее:	10 кВт
Номинальный диапазон частот:	5÷20000 Гц
Воспроизводимый диапазон частот:	20÷1000 Гц
Тип привода:	эл.динамика
Расход воздуха:	0,5...5 м³/сек
Давление воздуха, не более:	3 атм

ТРЕБОВАНИЯ К ЭКСПЕРИМЕНТУ

Температура окружающего воздуха, °C:	+10...+40
Относительная влажность воздуха, %:	30...80
Атмосферное давление, кПа:	84...106,7
мм. рт. ст.:	630...800
Неравномерность амплитудно-частотной характеристики:	3 дБ
Напряжение в сети	220В±10% с γ 50Гц ±1%

ТРЕБОВАНИЯ К ФУНКЦИОНАЛУ...

ТРЕБОВАНИЯ К ВОЗДУШНОМУ ПИТАНИЮ

Номинальное давление в сети, не более:	5 атм
Минимальное давление в сети, не более:	0.5 атм
Максимальное давление в сети, не более:	7 атм
Чистота фильтрации, не менее:	50 мкм
Влажность сжатого воздуха	35%...65%

КОНСТРУКТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

1. Состав: корпус, модулятор, фильтр, привод, арматура
2. Антикоррозионное покрытие по ГОСТ 9.301-78
3. Модулятор выполнен единым узлом, не требующим регулировки взаимного расположения подвижной и неподвижной частей в процессе эксплуатации
4. Собственные резонансы подвески якоря должны лежать вне диапазона воспроизводимых частот
5. Предельная температура обмоток не более 80°C

ТРЕБОВАНИЯ К ОБСЛУЖИВАНИЮ...

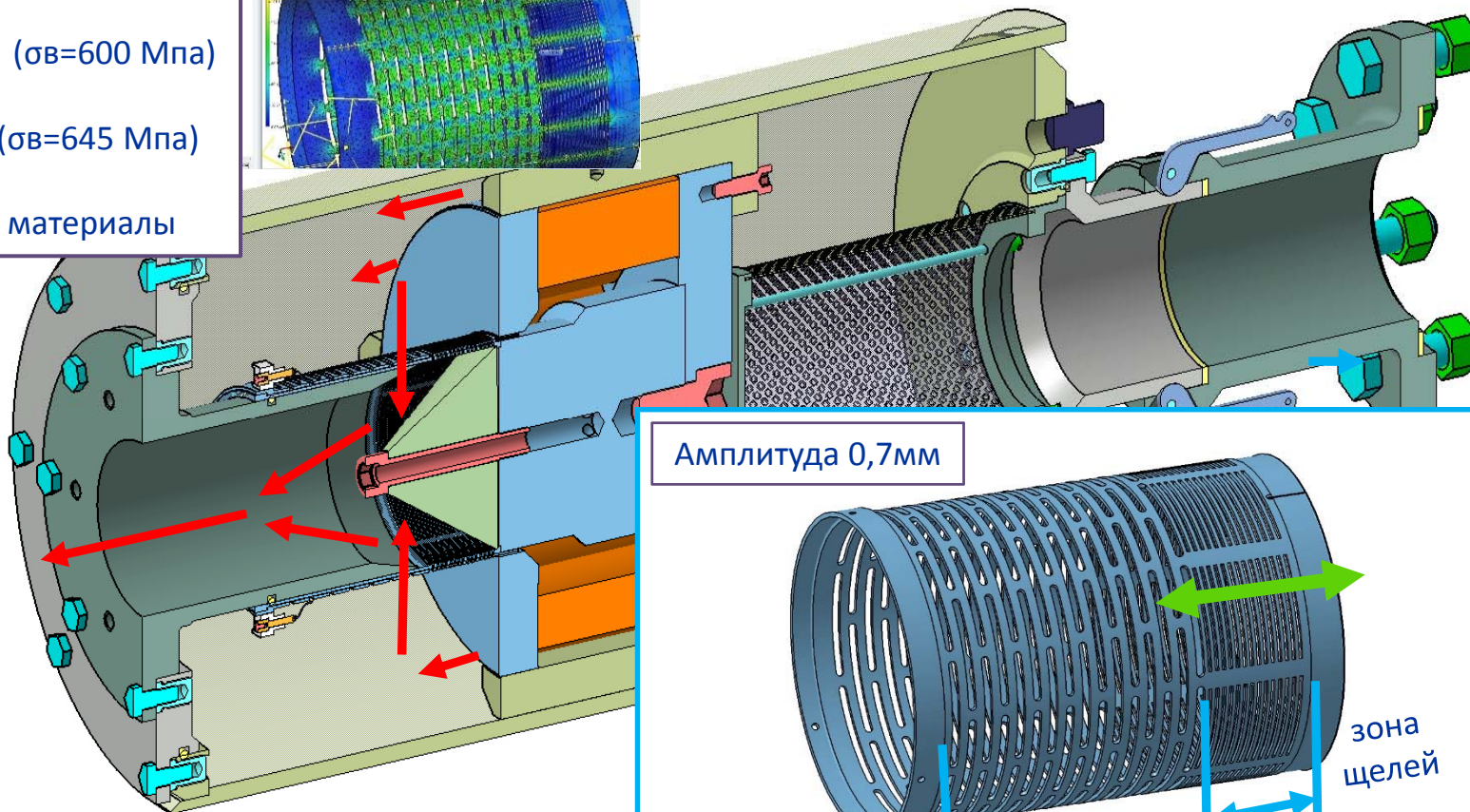
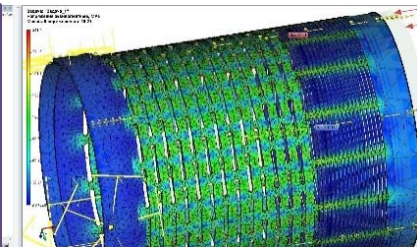
МОДУЛЯЦИЯ КОЛЕБАНИЙ НА ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОМ КЛАПАНЕ

Д16Т ($\sigma_v=420$ МПа)

1469 ($\sigma_v=600$ МПа)

В95 ($\sigma_v=645$ МПа)

и др. материалы



Амплитуда 0,7мм

зона щелей
зона цилиндрической пружины

↔ Возратно-поступательное движение клапана
↔ Направление движения воздушного потока

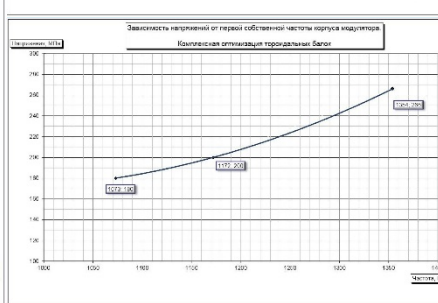
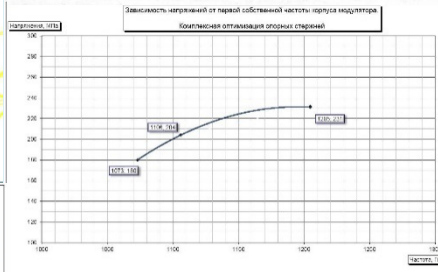
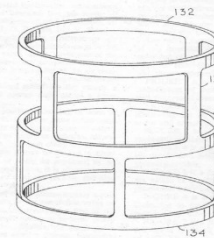
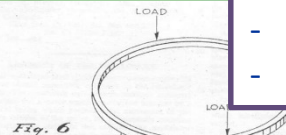
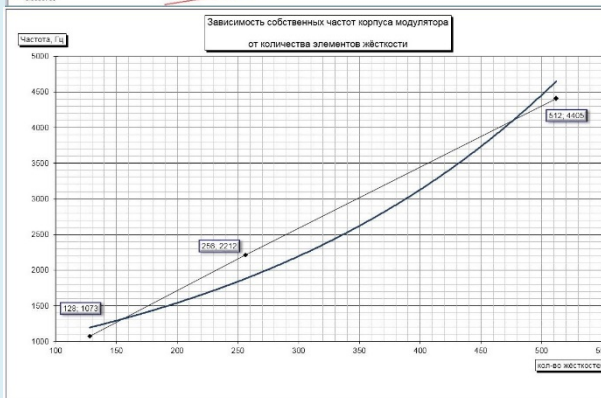
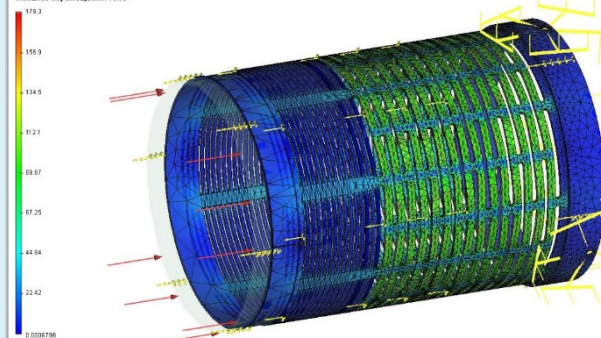
ОПТИМИЗАЦИЯ УЗЛА МОДУЛЯТОРА

ШАГ 1. ПОВЫШЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ПРУЖИННОЙ СЕКЦИИ

базовая конструкция

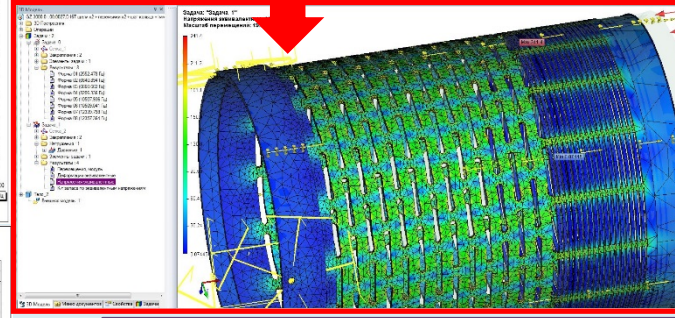
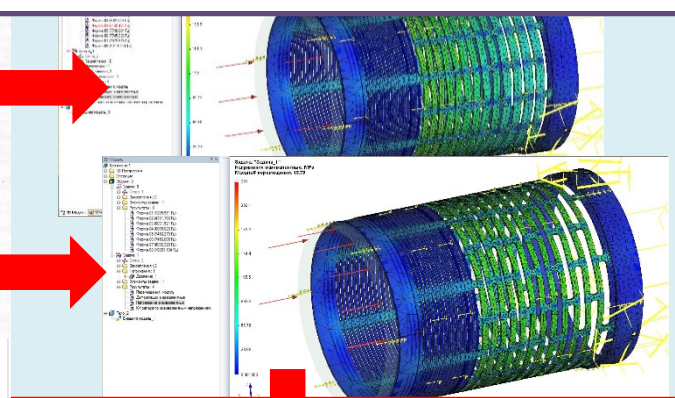
Частота: 630 Гц
Напряжения: 180 МПа
Амплитуда колебаний: 0,7 мм
Масса подвижных частей: 0,23 кг

Задача: "Шаг 1"
Напряжения эквивалентные, МПа
Масштаб перемещений: 10.70



МЕРЫ ПОВЫШЕНИЯ ЧАСТОТЫ:

- увеличение количества опорных жесткостей
- увеличение рабочих площадей стоек
- увеличение рабочих площадей балок



после шага 1

Частота: 2500 Гц
Напряжения: 240 МПа
Амплитуда колебаний: 0,5 мм
Масса подвижных частей: 0,28 кг

ОПТИМИЗАЦИЯ УЗЛА МОДУЛЯТОРА

ШАГ 2. УМЕНЬШЕНИЕ МАССЫ ПОДВИЖНЫХ ЧАСТЕЙ

базовая
конструкция

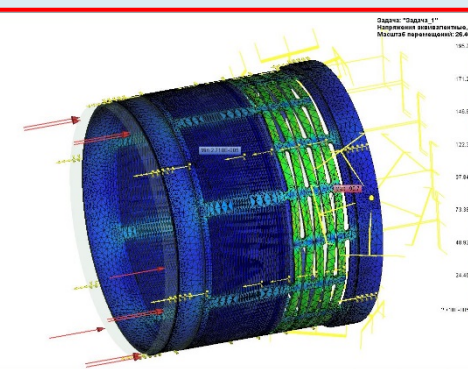
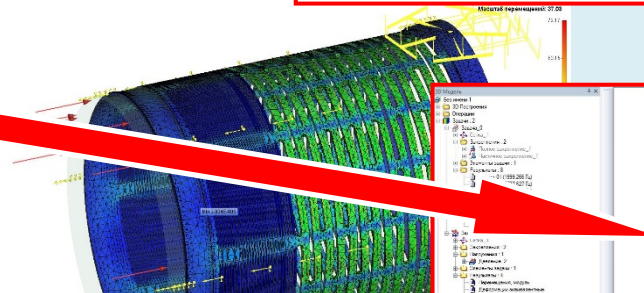
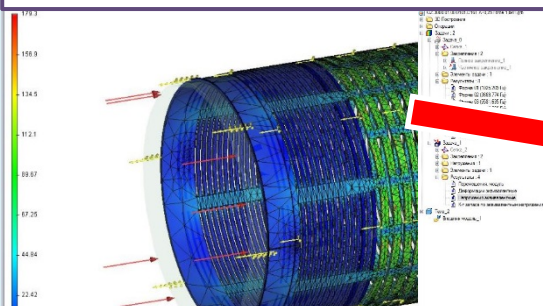
Частота: 630 Гц
Напряжения: 180 МПа

Амплитуда колебаний: 0,7 мм
Масса подвижных частей: 0,23 кг

МЕРЫ УМЕНЬШЕНИЯ МАССЫ:

- уменьшение амплитуды колебаний
- уменьшение массы подвижных частей
- сокращение требуемых секций пружины

РАЗРАБОТАН РЯД МОДУЛЯТОРОВ
под амплитуду 0,25 мм для разных материалов



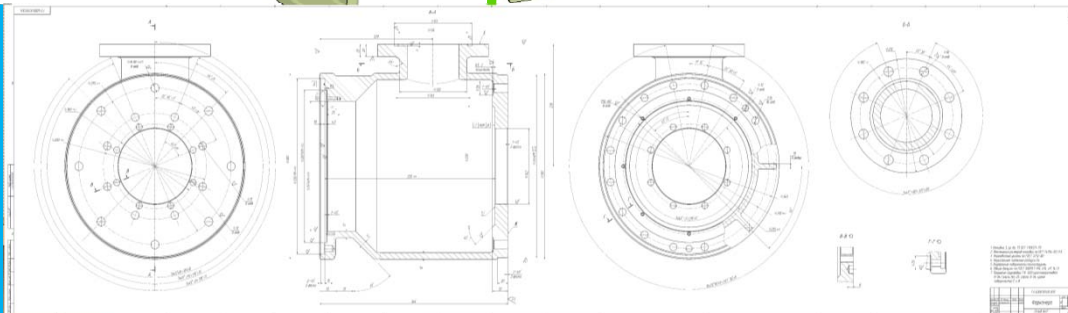
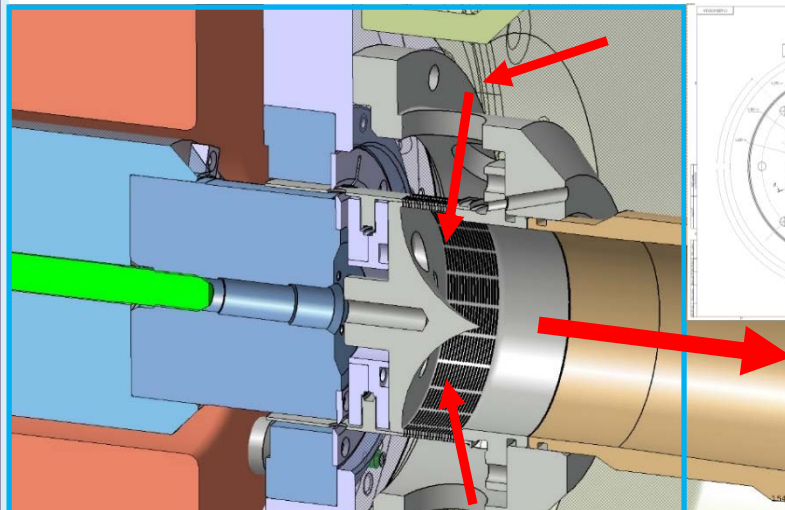
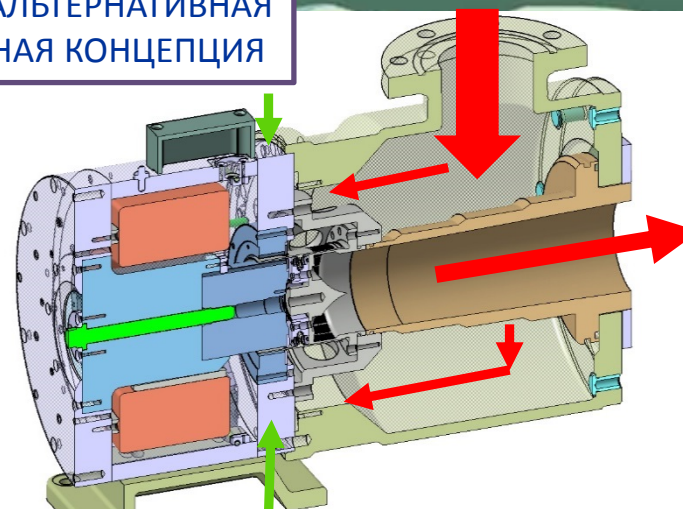
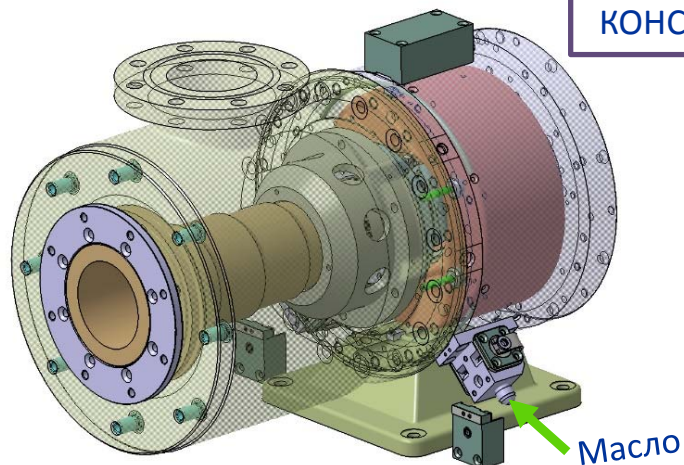
Конструктив. исполнение	Зона звук. щелей, мм	Частота, Гц (прогноз)	Напряжения, МПа	Коэф. запаса	Расход, кг/с	Мощность, кВт	Вес, гр	Тяговая сила, кН
0. Д16Т прототип	42	594-1025	72	5,83	1,05	22,45	234	1,8
1. Д16Т укороченная пружина	42	1159-1999	195,7	2,15	1,05	22,45	159	5,07
Замещение пар секций пружины секциями звуковых щелей в габаритах модулятора								
2. Д16Т	56	1056-1822	171,4	2,45	1,39	29,69	177	4,95
3. Д16Т	70	960-1656	195,2	2,15	1,73	36,93	194	4,70
4. Д16Т	84	901-1554	192,6	2,18	2,07	44,17	212	4,66
5. Д16Т	98	849-1464	178,9	2,34	2,41	51,41	230	4,61
6. Д16Т	112	787-1385	176,7	2,37	2,75	58,65	247	4,52
7. В95	140	928-1600	228,1	2,27	3,43	73,14	267	6,40
8. В95	126	963-1661	259,6	2,00	3,09	65,90	250	6,44
9. В95	112	1017-1755	257,2	2,02	2,75	58,65	232	6,63
10. В95	98	1078-1859	276,4	1,88	2,41	51,41	215	6,80

после шага
2

Частота: 2000 Гц
Мощность: 20 кВт
Напряжения: 195 МПа
Амплитуда колебаний: 0,25 мм
Масса подвижных частей: 0,16 кг

ОРГАНИЗАЦИЯ ПОТОКА ГАЗА С ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ ОХЛАЖДЕНИЯ

РАЗРАБОТАНА АЛЬТЕРНАТИВНАЯ
КОНСТРУКТИВНАЯ КОНЦЕПЦИЯ

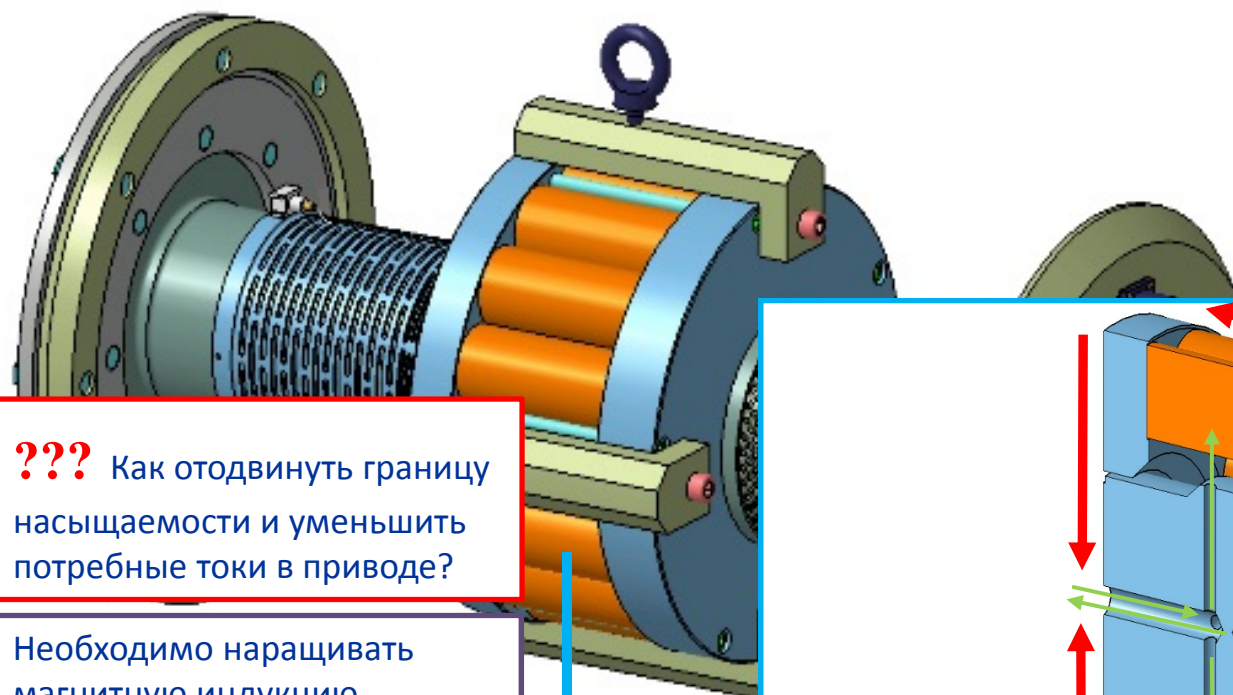


←→ Направление подачи охлаждающей среды
↔ Направление движения воздушного потока

ТХ

Частота: 1250 Гц
Расход: 1,5 кг/с
Мощность: 10 кВт
Амплитуда колебаний: 0,25 мм
Масса подвижных частей: 0,13 кг
Охлаждение: минеральное масло

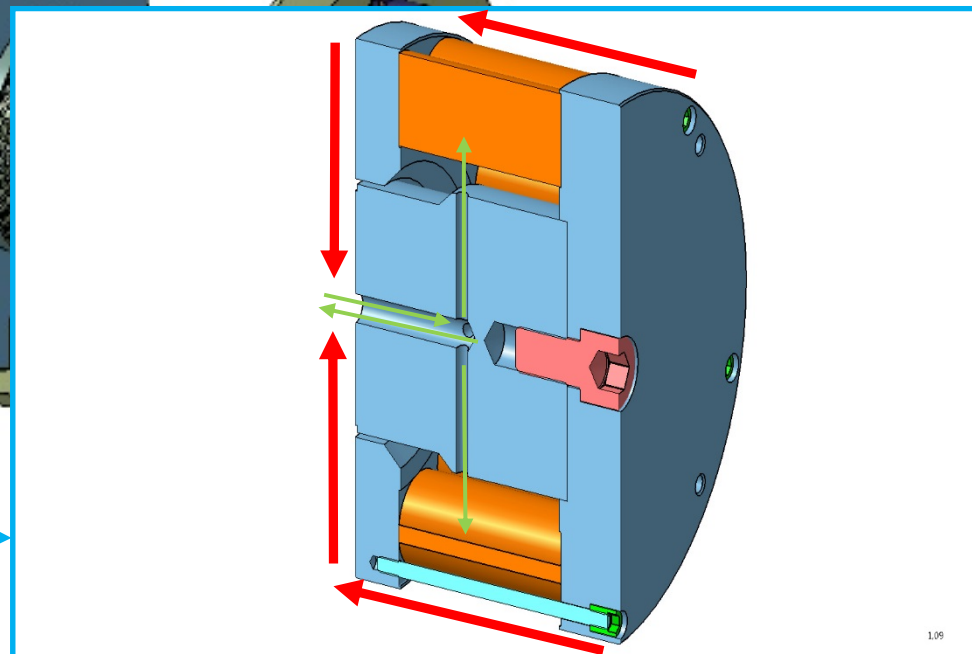
ПЕРЕПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПРИВОДА



Напряжение: $220\text{В} \pm 10\%$
Частота: $50\text{Гц} \pm 1\%$
Индукция насыщения: $1,4\text{Тл}$

??? Как отодвинуть границу насыщаемости и уменьшить потребные токи в приводе?

Необходимо наращивать магнитную индукцию в рабочем зазоре. Назрела необходимость перепроектирования узла электромагнитного привода на неодимовом сердечнике



После модулятора часть турбулентного воздуха по каналам попадает во внутренние полости магнита, дополнительно охлаждая катушку изнутри

Направление движения воздушного потока

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

ПО ИТОГАМ ПАТЕНТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОПРЕДЕЛЕНА ТЕНДЕНЦИЯ В ОБЛАСТИ АКУСТИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ

СФОРМУЛИРОВАНЫ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТИРУЕМОМУ ИЗДЕЛИЮ НА УРОВНЕ МИРОВЫХ АНАЛОГОВ

ПРОИЗВЕДЕН ПОИСК КОНСТРУКТИВНОЙ КОНЦЕПЦИИ ПО СОЗДАНИЮ ДЕМОНСТРАТОРА

ОПРЕДЕЛЕН КОНСТРУКТИВНЫЙ ОБЛИК ГЕНЕРАТОРА ЗВУКА, ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА РАБОТЫ И СОСТАВ

ПРИМЕНЕНЫ МЕРЫ КОНСТРУКТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДЕЛА

ИССЛЕДОВАНЫ ПРОЦЕССЫ ОХЛАЖДЕНИЯ КАТУШЕК, ДЕМПФИРОВАНИЯ ПОДВИЖНЫХ ЧАСТЕЙ МОДУЛЯТОРА

УВЕЛИЧЕНА ЖЕСТКОСТЬ ПРУЖИННОЙ ЧАСТИ УЗЛА МОДУЛЯЦИИ И ДИАПАЗОН УПРАВЛЯЕМЫХ ЧАСТОТ

УМЕНЬШЕНЫ МАССЫ ПОДВИЖНЫХ ЧАСТЕЙ, РАЗРАБОТАН РЯД МОДУЛЯТОРОВ

УМЕНЬШЕНА АМПЛИТУДА КОЛЕБАНИЙ (ХОД ПОДВИЖНЫХ ЧАСТЕЙ) И ПОТРЕБНАЯ ТЯГОВАЯ СИЛА

ПОВЫШЕНА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРО-МАГНИТНОГО ПРИВОДА

ПРОВОДИТСЯ ПЕРЕПРОЕКТИРОВАНИЕ УЗЛА МАГНИТА

УЛУЧШЕНА ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ, В КОНСТРУКЦИИ ПРЕДУСМОТРЕНА СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ

КОНСТРУКТИВНАЯ ПРОРАБОТКА ДЕМОНСТРАТОРА ПРЕДПОЛАГАЕТ СОЗДАНИЕ МАКЕТНОГО ОБРАЗЦА



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Исследования по разработке мощных источников звука для акустического нагружения авиационных конструкций

С.К. Ким, В.М. Костенко, Е.Е. Стегачёв

ФГУП ЦАГИ им. проф. Н.Е. Жуковского, aircraft_83@mail.ru