



АО «ВОЕННО-ПРОМЫШЛЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ
«НПО МАШИНОСТРОЕНИЯ»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ САПР АРМ WINMACHINE ДЛЯ ПРОЧНОСТНОГО АНАЛИЗА В СФЕРЕ ОБОРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ



АО «КОРПОРАЦИЯ
«ТАКТИЧЕСКОЕ РАКЕТНОЕ
ВООРУЖЕНИЕ»

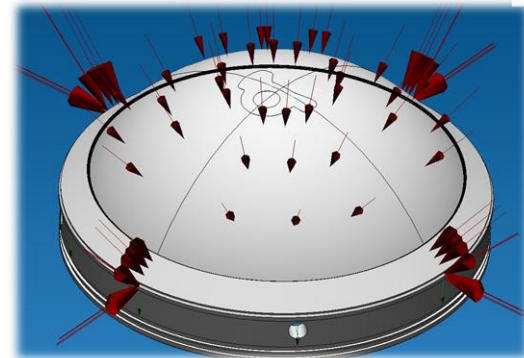
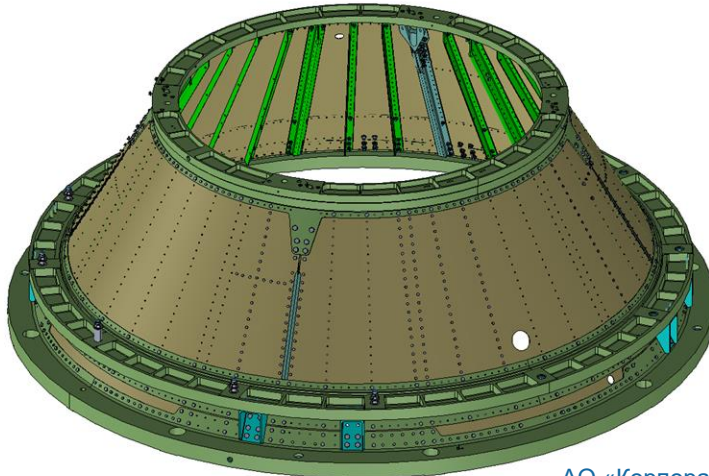
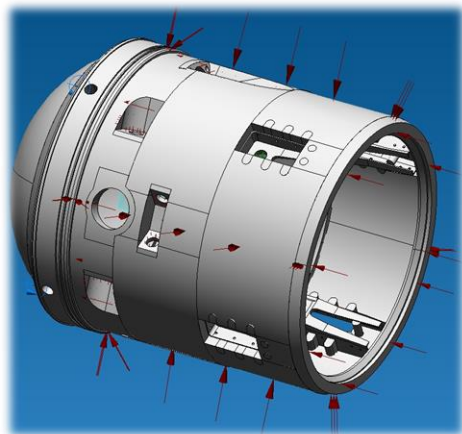
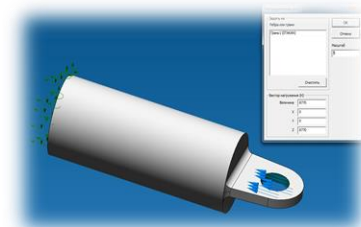




ПРОЧНОСТНОЙ АНАЛИЗ ИЗДЕЛИЙ ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ И ИХ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ ПРИ ПОМОЩИ АРМ WINMACHINE

В ходе моделирования и расчетов в САПР АРМ WinMachine используются как модули расчета деталей машин и соединений, так и модули конечно-элементного анализа

Для расчета напряженно - деформированного состояния и потери устойчивости в линейной постановке по методу конечных элементов используется модуль АРМ Structure 3D.





МОДУЛЬ APM STRUCTURE 3D

Модуль APM Structure 3D предназначен для анализа трехмерных машиностроительных конструкций, состоящих из стержневых, пластинчатых и объемных конечных элементов в их произвольной комбинации. Конечные элементы в моделях конструкций соединяются узлами.

APM Structure 3D позволяет выполнить:

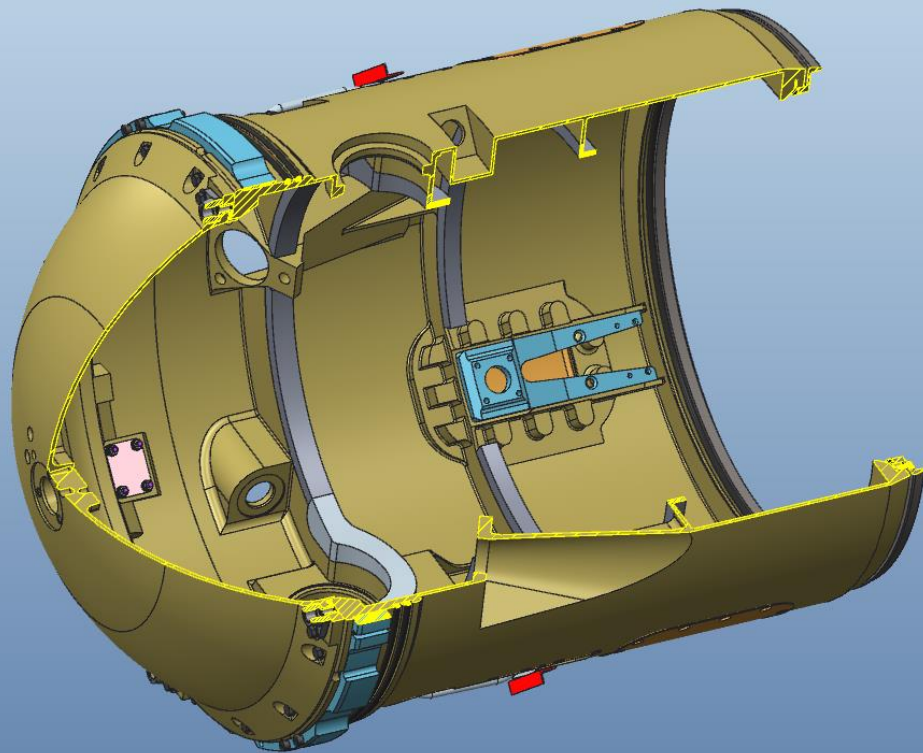
- расчеты на статическую прочность и устойчивость модели конструкции;
- деформационный и нелинейный расчеты, учитывающие изменение формы модели под действием нагрузки;
- расчет собственных резонансных частот (в том числе с учетом действия внешних сил) и характеристик вынужденных колебаний при известном законе внешних вынуждающих сил.





МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ НОСОВОЙ ОБТЕКАТЕЛЬ

- ▶ Корпус НО конструктивно состоит из днища в виде сферического сегмента, расположенного в передней части НО, и цилиндрического корпуса, соединенных между собой болтовым соединением с обеспечением герметичности стыка.
- ▶ Днище состоит из гладкой оболочки и соединенной с ней сваркой рамы днища.
- ▶ Цилиндрический корпус НО состоит из обшивки и шпангоутов.
- ▶ На цилиндрическом корпусе НО имеются усиленные элементы в местах установки двигателей системы ориентации ЛА и увода НО от ЛА.
- ▶ Днище и цилиндрический корпус НО изготавливаются из свариваемого алюминиевого сплава.





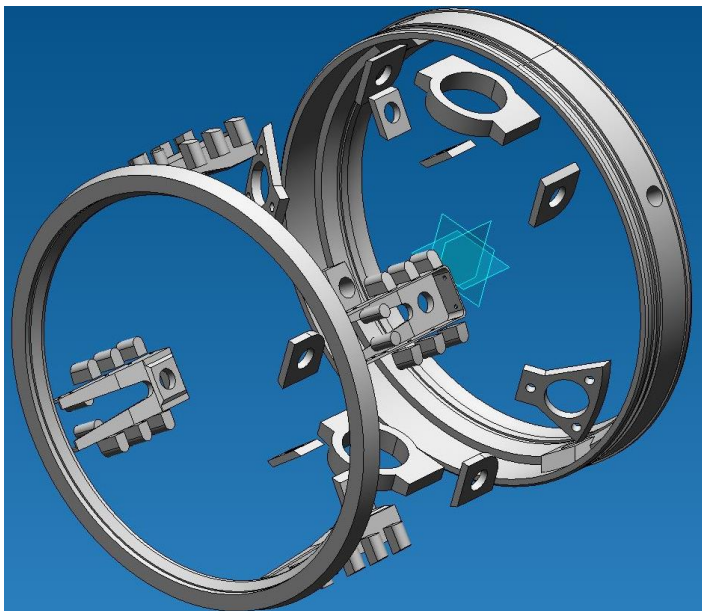
СОЗДАНИЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ ОБТЕКАТЕЛЯ

- ▶ Так как корпус НО содержит как тонкостенные обшивки с большими геометрическими размерами так и объёмные силовые элементы, то при прямом разбиении твердотельной модели на конечные элементы их размер получается мелким, из-за чего растёт размерность задачи. В результате вычислительных мощностей компьютеров, используемых в конструкторском отделе недостаточно для проведения расчётов.
- ▶ Поэтому, для проведения прочностных расчётов была создана комбинированная модель, состоящая из твердотельных и оболочечных элементов.
- ▶ При этом при построении сетки конечных элементов тонкостенные части разбиваются на треугольные элементы, а объёмные на четырёхузловые тетраэдры.
- ▶ При таком построении модели время расчёта значительно уменьшилось, что позволяет варьировать геометрические параметры для оптимизации конструкции.
- ▶ Для верификации такого подхода на вычислительных мощностях НТЦ АПМ были проведены расчёты на полной твердотельной модели с разбиением на десятиузловые КЭ.

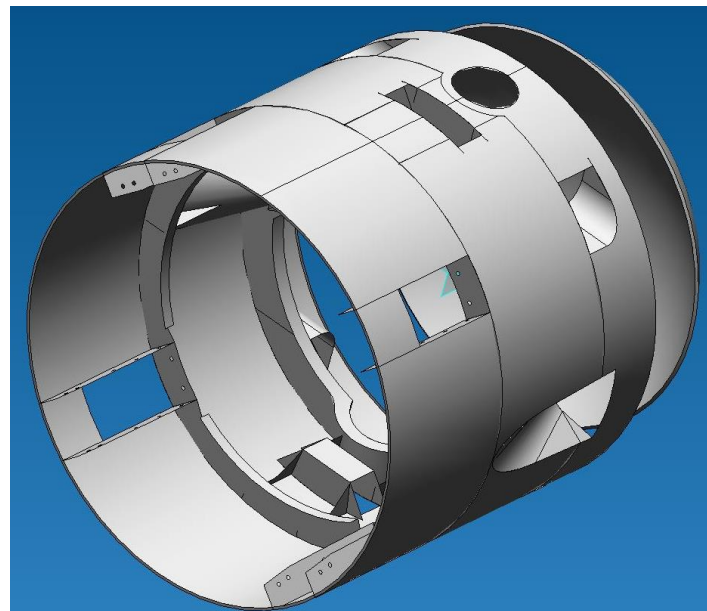


РАЗДЕЛЕНИЕ МОДЕЛИ НА ТОНКОСТЕННЫЕ И ОБЪЁМНЫЕ ФРАГМЕНТЫ

Твердотельная геометрия, разбиваемая на объёмные КЭ



Тонкостенная геометрия, разбиваемая на пластинчатые КЭ





РАСЧЁТНЫЕ СЛУЧАИ

Для проведения прочностного анализа были выбраны 4 основных расчётных случая:

1. $S = -380$ кН;

$M = 11$ кН·м;

$p_H = 6 \cdot 10^5$ Па.

Сила (сжимающая) приложена к плоскости стыка днища с цилиндром.

Давление (внешнее) приложено к боковой поверхности цилиндра;

Момент (изгибающий) приложен к плоскости стыка днища с цилиндром в плоскости расположения конических ниш.

2. $p_H = 20 \cdot 10^5$ Па.

Давление (внешнее) приложено к сферической поверхности днища;

Закрепление за буртик с обратной стороны.

3. $Y_1 = 80$ кН.

Сила приложена к фланцу одного из отверстий двигателя разворота по тангажу.

Закрепление за цилиндрические отверстия пиростопоров крепления к изделию.

4. $Y_2, Y_3 = 105$ кН,

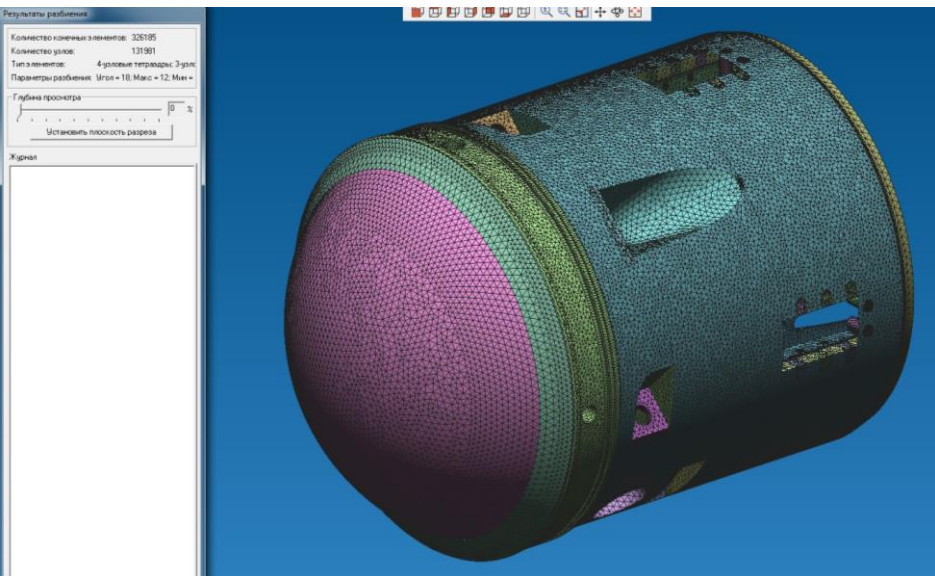
Сила приложена к кольцевой зоне трех отверстий крепления двигателей увода НО нормально к фланцу (с двух сторон симметрично).

Закрепление за цилиндрические отверстия пиростопоров крепления к изделию.

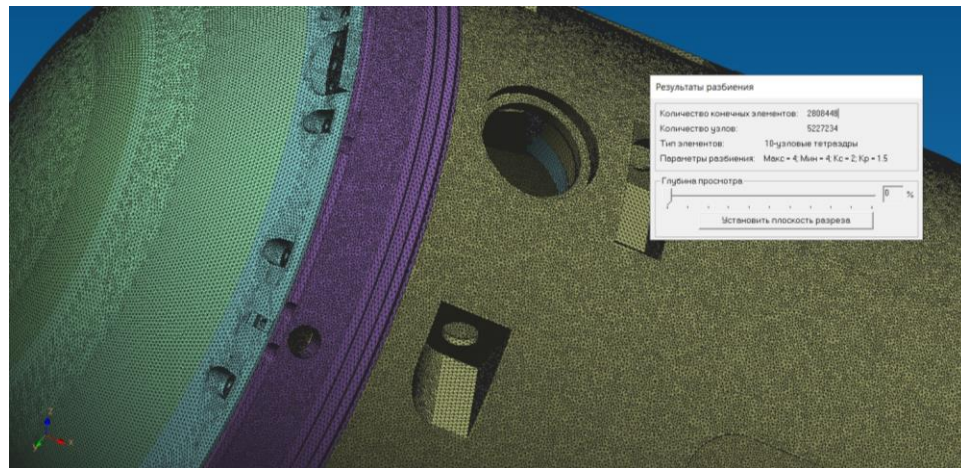


КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНАЯ СЕТКА

Модель с оболочечными элементами
(модель 1)



Твердотельная модель
(модель 2)



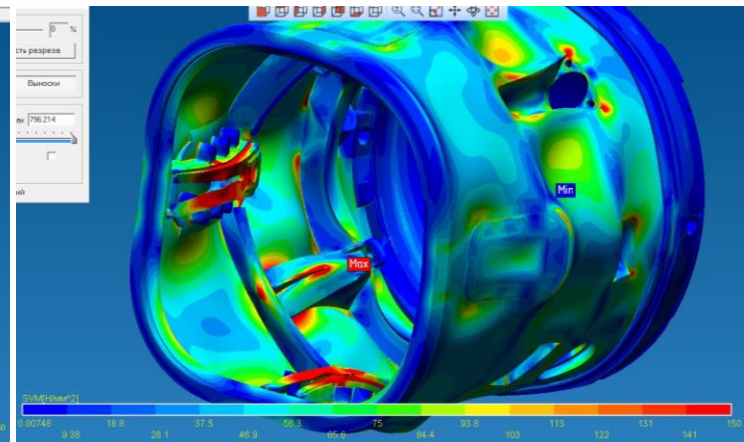
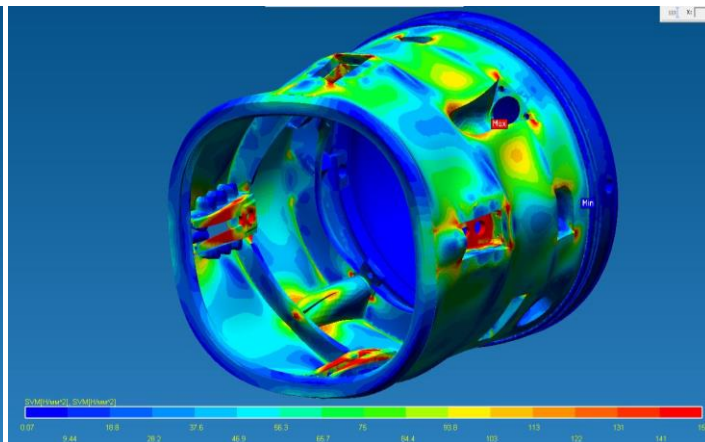
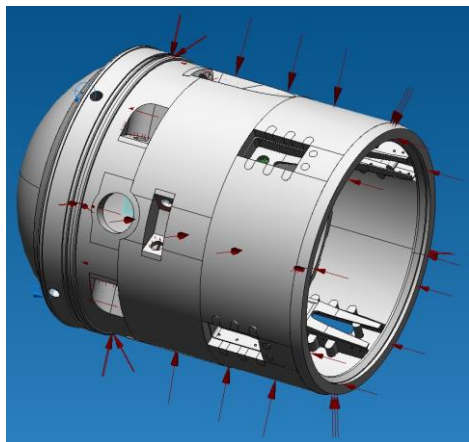


РАСЧЁТНЫЙ СЛУЧАЙ 1 (ДАВЛЕНИЕ НА КОРПУС И МОМЕНТ ИЗГИБА)

Расчётная модель

Распределение напряжений
в модели 1

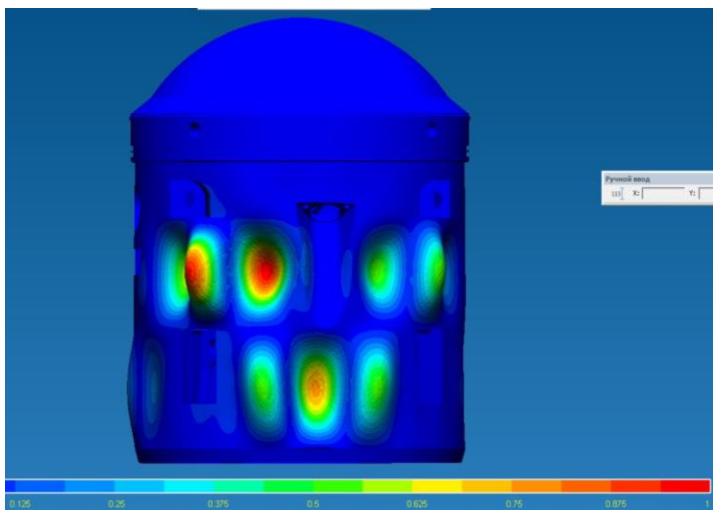
Распределение напряжений в
модели 2



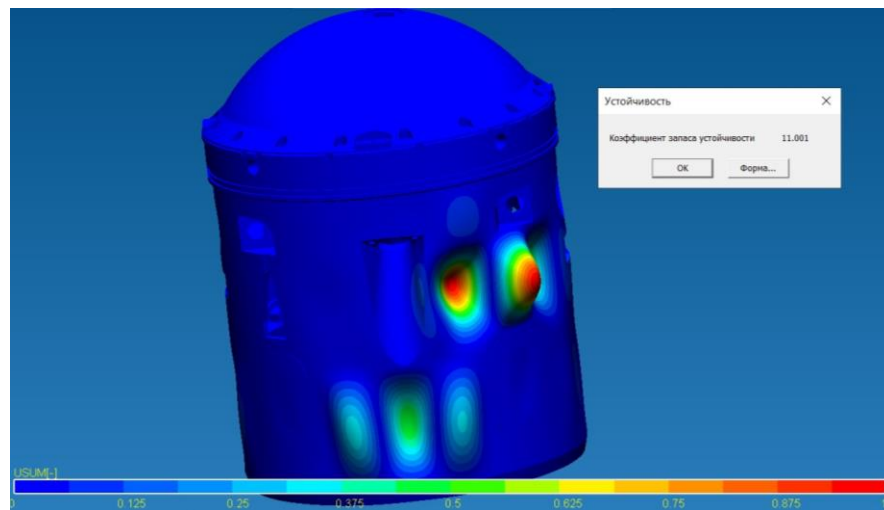


РАСЧЁТНЫЙ СЛУЧАЙ 1, РАСЧЁТ УСТОЙЧИВОСТИ

Распределение деформаций при потере устойчивости в модели 1



Распределение деформаций при потере устойчивости в модели 2



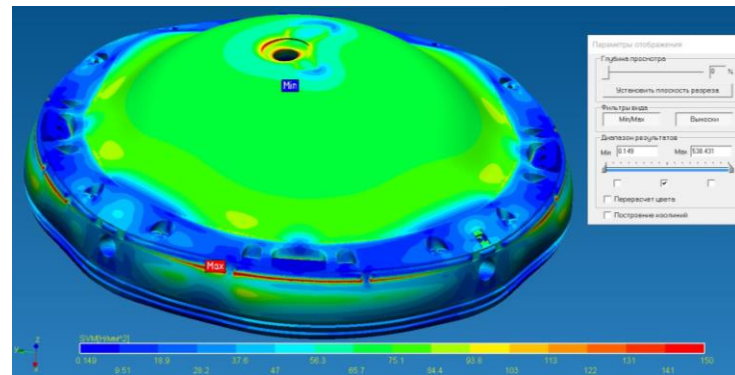
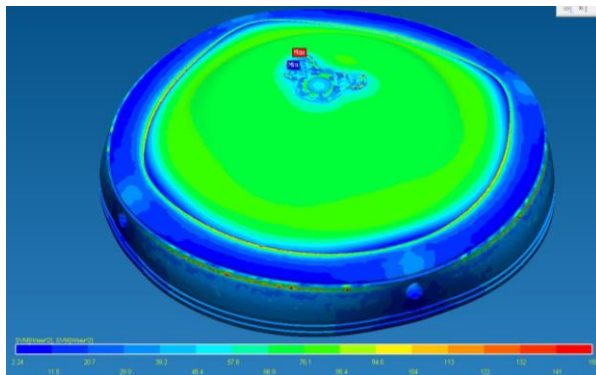
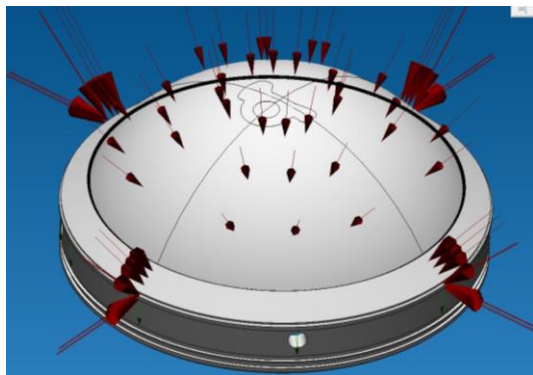


РАСЧЁТНЫЙ СЛУЧАЙ 2 (ДАВЛЕНИЕ НА ДНИЩЕ)

Расчётная модель

Распределение напряжений
в модели 1

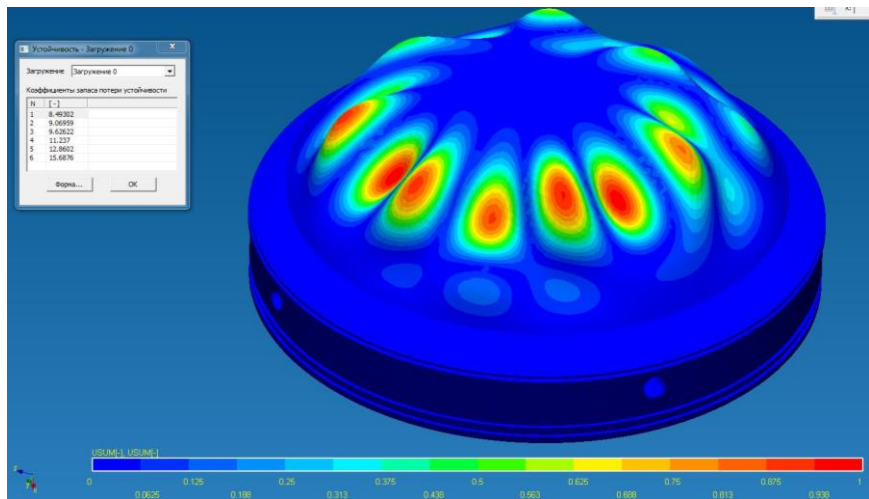
Распределение напряжений в
модели 2



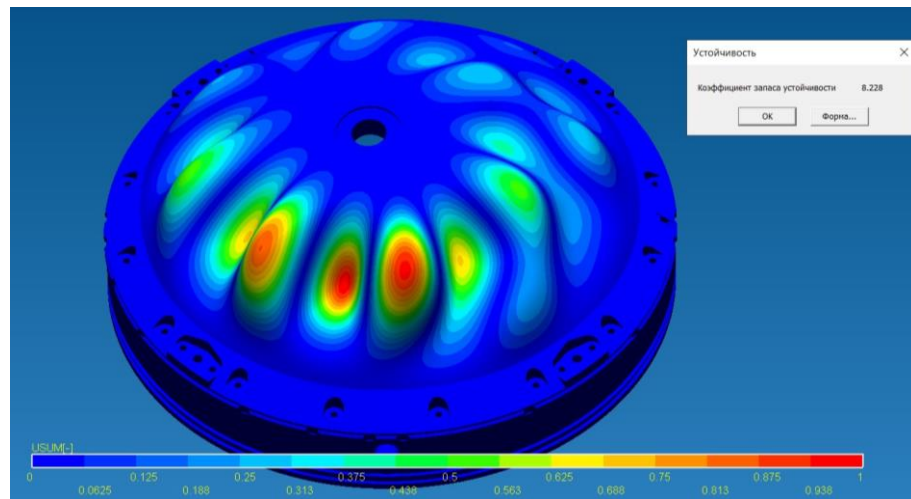


РАСЧЁТНЫЙ СЛУЧАЙ 2, РАСЧЁТ УСТОЙЧИВОСТИ

Распределение деформаций при потере устойчивости в модели 1



Распределение деформаций при потере устойчивости в модели 2



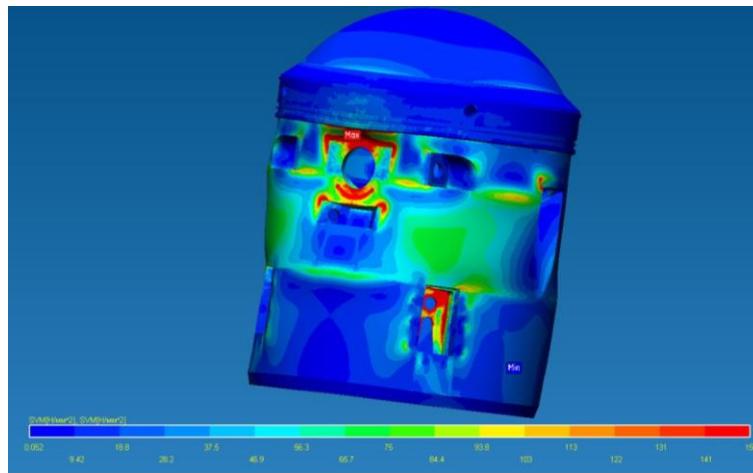


РАСЧЁТНЫЙ СЛУЧАЙ 3 (РАЗВОРОТ ПО ТАНГАЖУ)

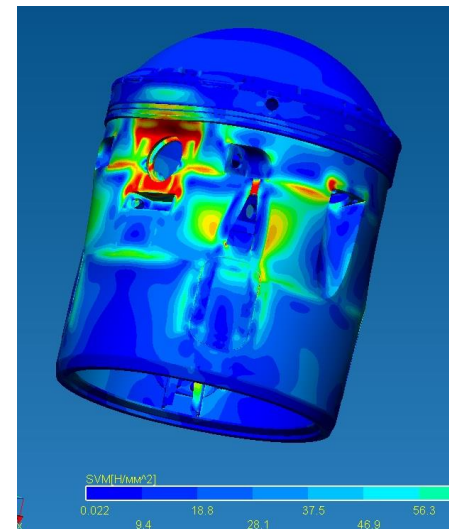
Расчётная модель



Распределение напряжений
в модели 1



Распределение
напряжений в модели 2



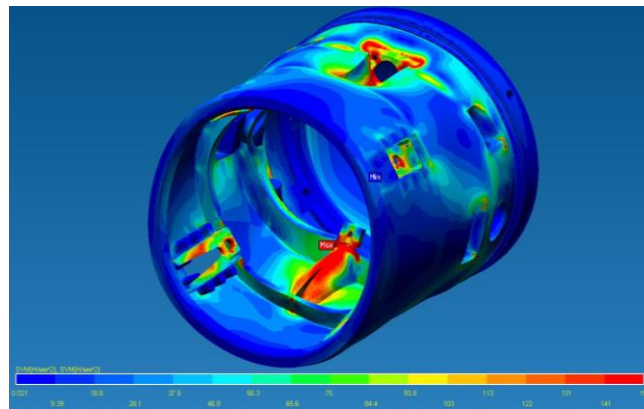


РАСЧЁТНЫЙ СЛУЧАЙ 4 (УВОД НОСОВОГО ОБТЕКАТЕЛЯ)

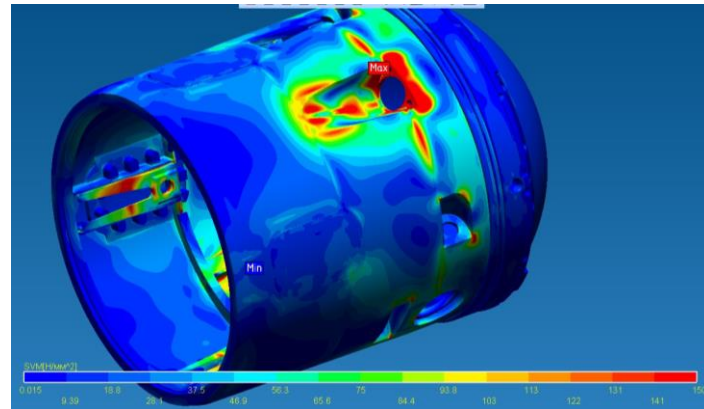
Расчётная модель



Распределение
напряжений в модели 1



Распределение
напряжений в модели 2





РАСЧЁТ СТЫКА ДНИЩА И ЦИЛИНДРА

Дополнительно в модуле APM JOINT был проведён проектировочный расчёт болтового стыка днища и цилиндра обтекателя.

На днище действует внутреннее давление $0,15 \cdot 10^5$ Па, погонная сила от резинового уплотнения 30 кгс/см и растягивающая сила 180 кН.

APM Joint

Выберите тип соединения

Болтовое с зазором Болтовое без зазора Заклепочное Соединения деталей вращения

Стыковая сварка Сварка односторонним швом Сварка двусторонним швом Точечная сварка

Постоянные параметры

Соединение (слой) Основной

Коэффициент запаса на нераскрытие 1.1

Коэффициент запаса сдвига 1.1

Коэффициент основной нагрузки 0.2

Коэффициент запаса текучести деталей крепления 1.25

Предел текучести материала деталей крепления [МПа] 835

Коэффициент трения сопряженных 0.15

Коэффициент трения в резьбе и на торце 0.15

Предел прочности материала деталей крепления [МПа] 1100

Количество поверхностей среза/трения 1

Ok Отмена Справка База данных...

Результаты расчёта

Соединение (слой) Основной

Геометрия

Площадь стыка [кв.мм] 55253.1

X координата центра масс стыка [мм] 0.0360704

Y координата центра масс стыка [мм] 0.0360704

Момент инерции стыка относит. центральным осей

относит. горизонтальной оси [мм⁴] 2.93206e+09

относит. вертикальной оси [мм⁴] 2.93206e+09

Угол наклона главных центральных осей [град] 0.0

X координата центра масс болтов [мм] -3.10862e-15

Y координата центра масс болтов [мм] 0

Нагрузка

Сила затяжки [Н] 13329.3

Максимальная нагрузка на болт [Н] 20357.1

Максимальное давление [МПа] 0.353656

Диаметр болта [мм] 8

Момент заворачивания [Нм] 23.0309

Момент трения в резьбе [Нм] 11.9922

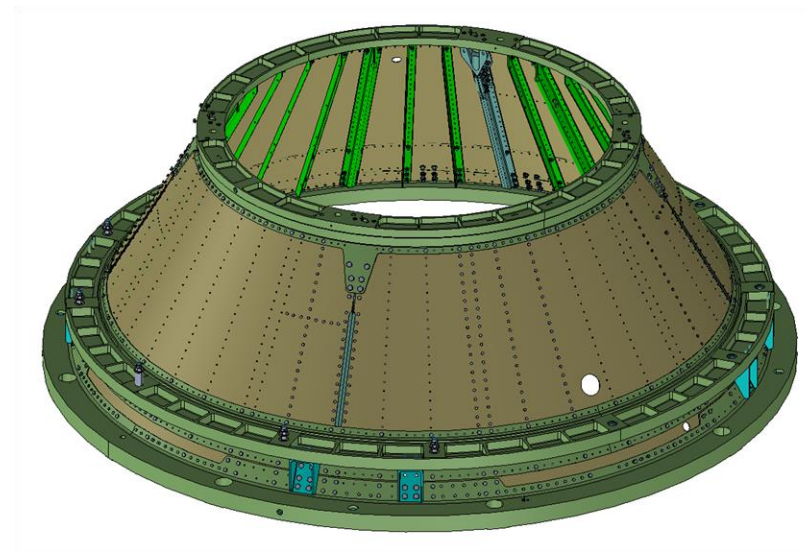
Момент трения на торце гайки [Нм] 11.0387

Для работы стыка необходимо использовать болты М8.



КОРПУС АДАПТЕРА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

- ▶ Корпус адаптера конструктивно состоит из: шпангоутов верхнего, нижнего и промежуточного, а также обшивки подкрепленной силовыми элементами, балками и стрингерами.
- ▶ Обшивка представляет собой гладкую оболочку, соединенную с шпангоутами при помощи заклепок.
- ▶ Крепление всех силовых элементов между собой осуществляется болтовыми соединениями и заклепками.

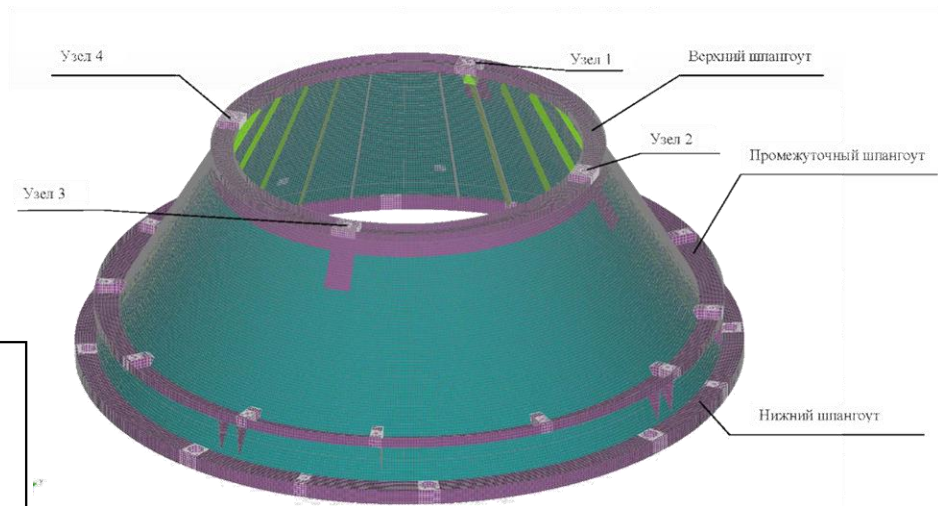




РАСЧЕТНАЯ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНАЯ МОДЕЛЬ В ARM STRUCTURE 3D

- ▶ Обшивка и шпангоуты моделировались пластичными элементами.
- ▶ Локальные места креплений и приложения точечных сил моделировались объемными элементами.
- ▶ Стрингеры моделировались балочными элементами. Сечение подобрано при помощи Structure 3D.

Стрингер №1	Стрингер №2	Балка
Шпангоут верхний	Шпангоут нижний	Шпангоут промежуточный

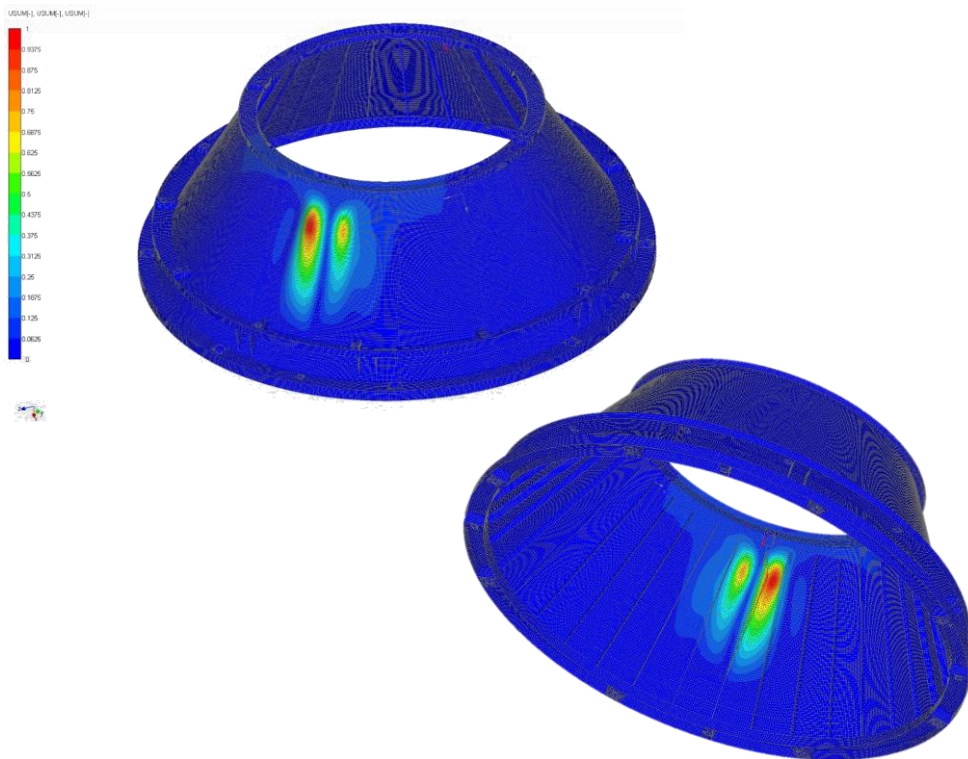




РАСЧЕТ КОРПУСА АДАПТЕРА НА УСТОЙЧИВОСТЬ

Предварительный расчет на устойчивость позволяет конструктору увидеть, что потеря устойчивости происходит в узлах крепления ПН. Устойчивость теряет обшивка и балка под узлом.

Повысить устойчивость корпуса адаптера можно введением дополнительных балок и увеличением количества стрингеров, под узлами крепления ПН, при этом толщина обшивки может быть уменьшена.



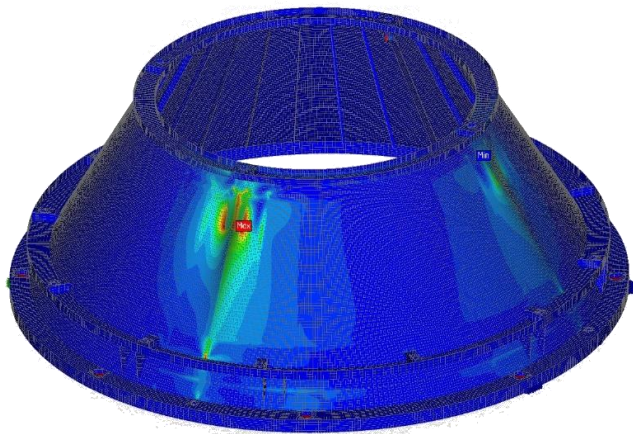
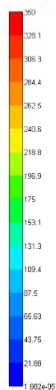


СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

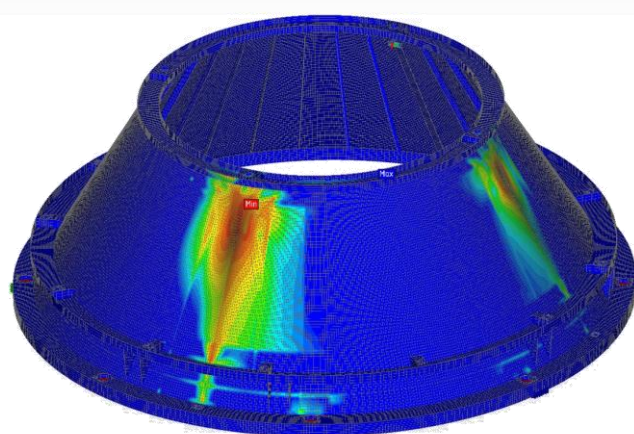
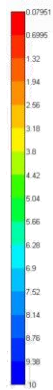
Необходимо увеличить коэффициент запаса по прочности.

Для снижения напряжений в балках и узлах крепления ПН необходимо при разработке конструкции изменить их геометрические параметры, увеличив толщину и высоту балок.

С/МПа[мм²], С/МПа[мм²], С/МПа[мм²]



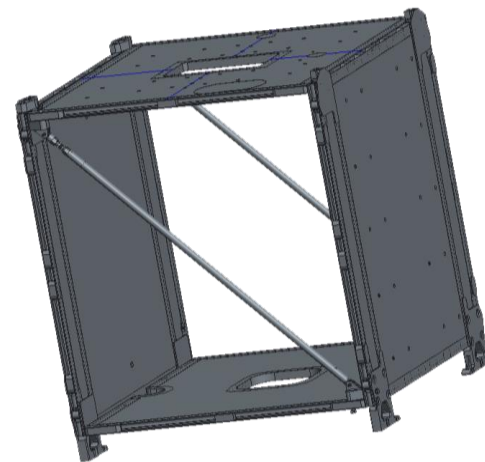
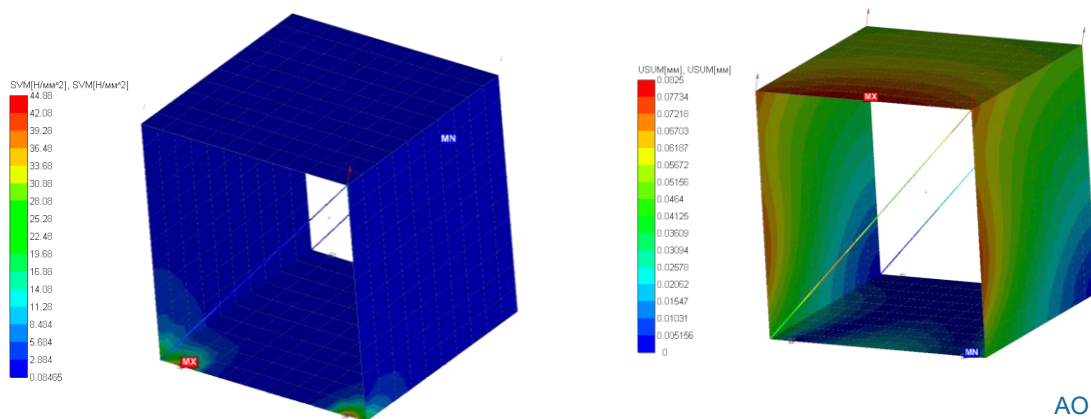
Коэф. запаса по пределу прочности[S/M], Коэф. запаса по пределу прочности[S/M], Коэф. запаса по пределу прочности[S/M]





СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КОРПУСА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Расчет в САПР АРМ WinMachine позволил определить уязвимые конструктивные элементы конструкции и скорректировать геометрические параметры деталей, входящих в состав корпуса КА.





ВЫВОДЫ

- ▶ При помощи предварительного прочностного анализа и расчета болтового соединения конструктор может существенно сократить процесс разработки и согласования конструкции.
- ▶ Для предварительных расчётов при разработке конструкции, когда необходимо быстро оценить влияние изменения геометрических параметров на прочность и устойчивость, эффективно использовать модули САПР АРМ WinMachine.
- ▶ Построение модели с оболочечными элементами значительно сокращает машинное время, затрачиваемое на расчёт.
- ▶ Картины напряжений и перемещений для расчёта с оболочечными элементами и твердотельной модели в целом совпадают.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!



**АО «ВОЕННО-ПРОМЫШЛЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ
«НПО МАШИНОСТРОЕНИЯ»**

Россия, 143966, Московская область, г. Реутов, ул. Гагарина, д.33
Тел.: +7 (495) 528-74-50, +7 (495) 302-11-85 Факс: +7 (495) 302-20-01
E-mail: vpk@vpk.npomash.ru
www.npomash.ru

АО «Корпорация «Тактическое Ракетное Вооружение»