



АО «ВОЕННО-ПРОМЫШЛЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ
«НПО МАШИНОСТРОЕНИЯ»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ САПР АРМ WINMACHINE ДЛЯ ПРОЧНОСТНОГО АНАЛИЗА В СФЕРЕ ОБОРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ



АО «КОРПОРАЦИЯ
«ТАКТИЧЕСКОЕ РАКЕТНОЕ
ВООРУЖЕНИЕ»

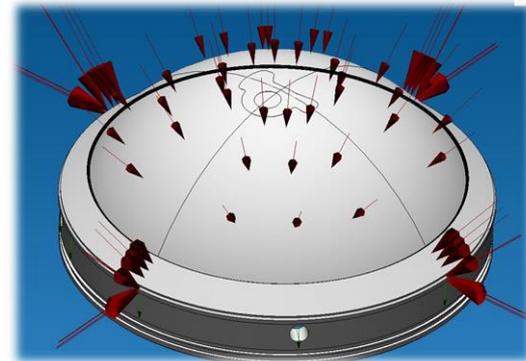
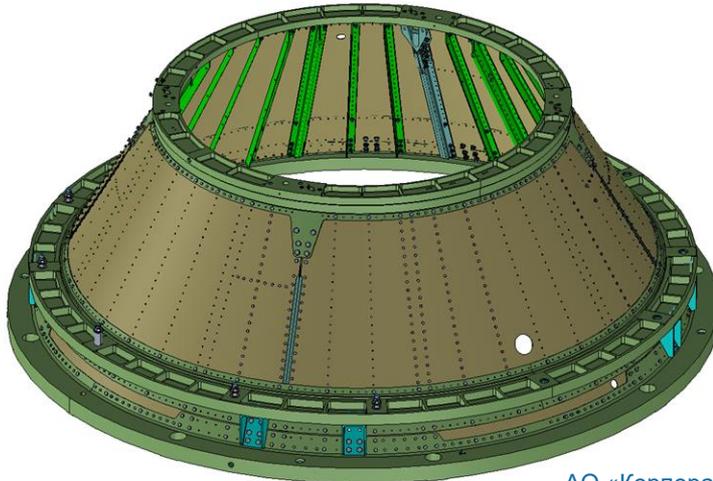
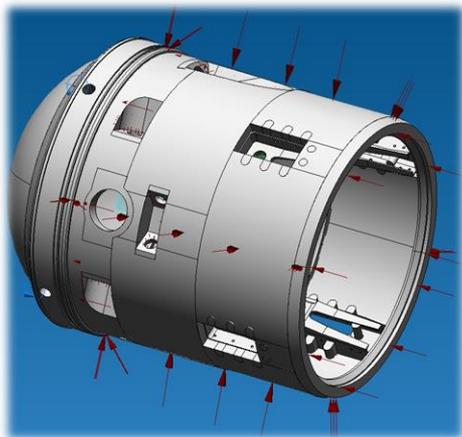
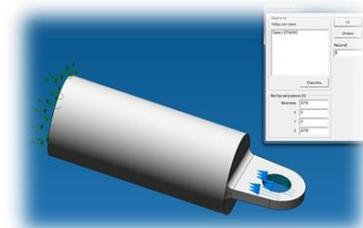




ПРОЧНОСТНОЙ АНАЛИЗ ИЗДЕЛИЙ ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ И ИХ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ ПРИ ПОМОЩИ АРМ WINMACHINE

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.



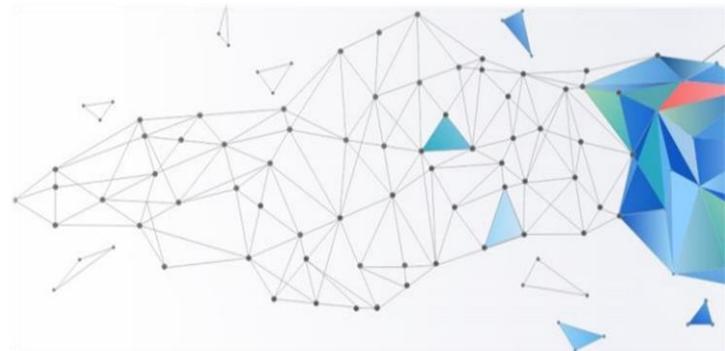


МОДУЛЬ APM STRUCTURE 3D

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:

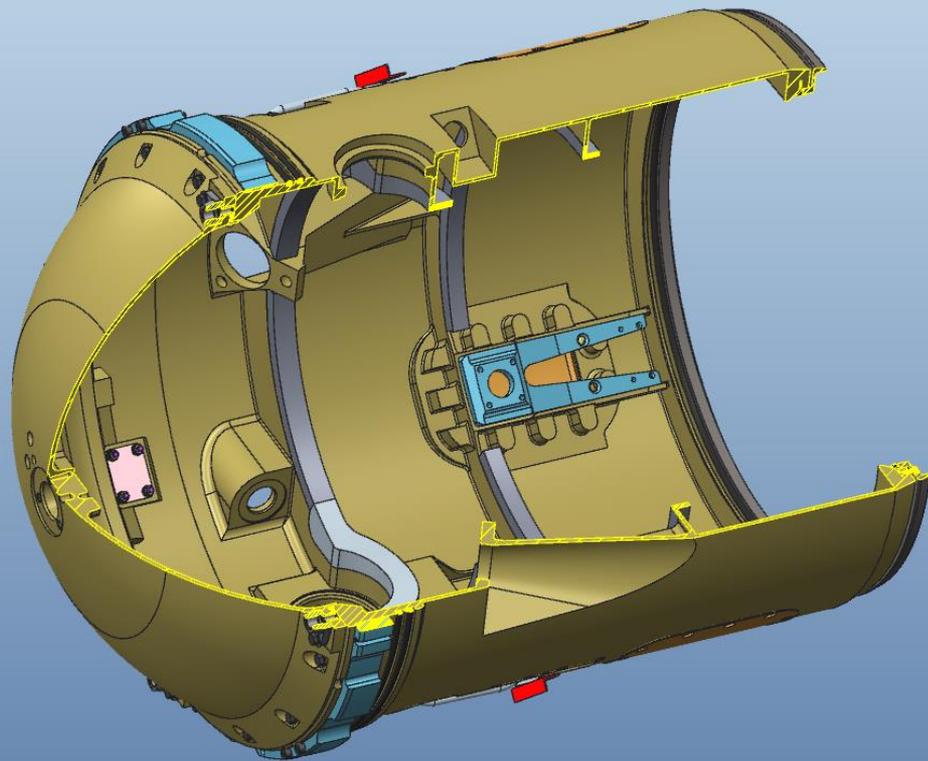
- расчеты на статическую прочность и устойчивость модели конструкции;
- деформационный и нелинейный расчеты, учитывающие изменение формы модели под действием нагрузки;
- расчет собственных резонансных частот (в том числе с учетом действия внешних сил) и характеристик вынужденных колебаний при известном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





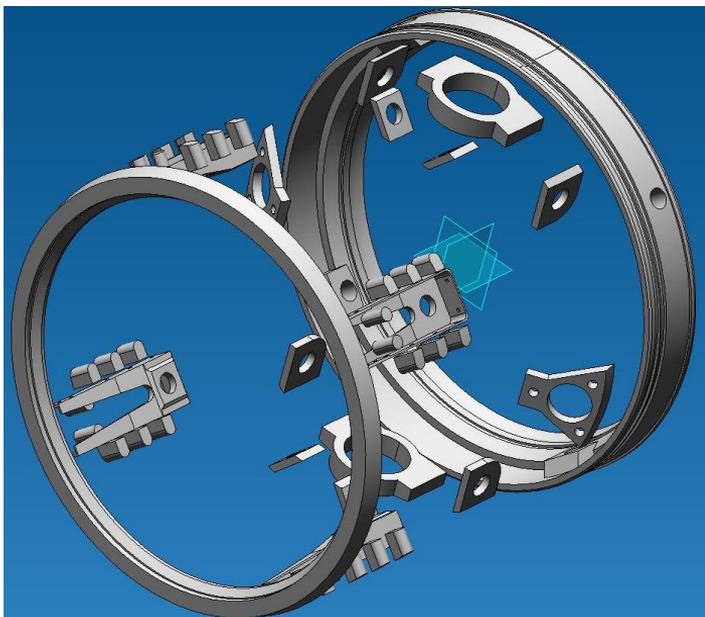
СОЗДАНИЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ ОБТЕКАТЕЛЯ

- ▶ 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.

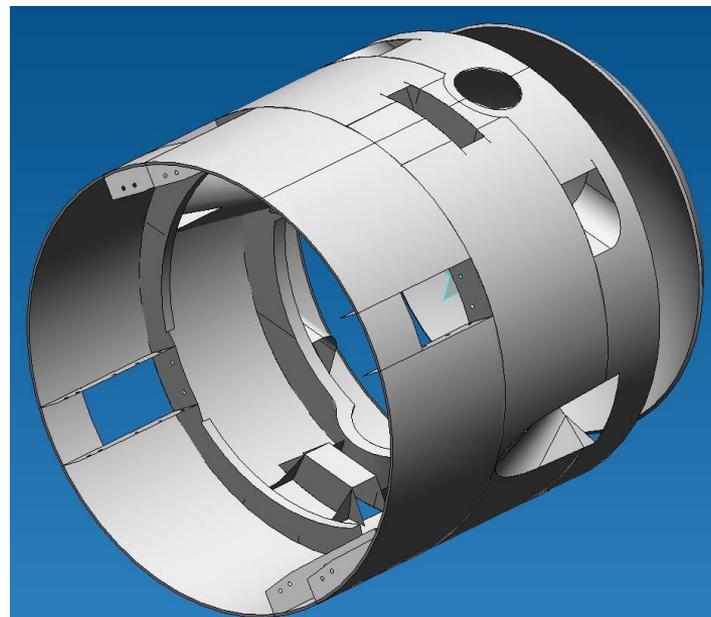


РАЗДЕЛЕНИЕ МОДЕЛИ НА ТОНКОСТЕННЫЕ И ОБЪЁМНЫЕ ФРАГМЕНТЫ

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,

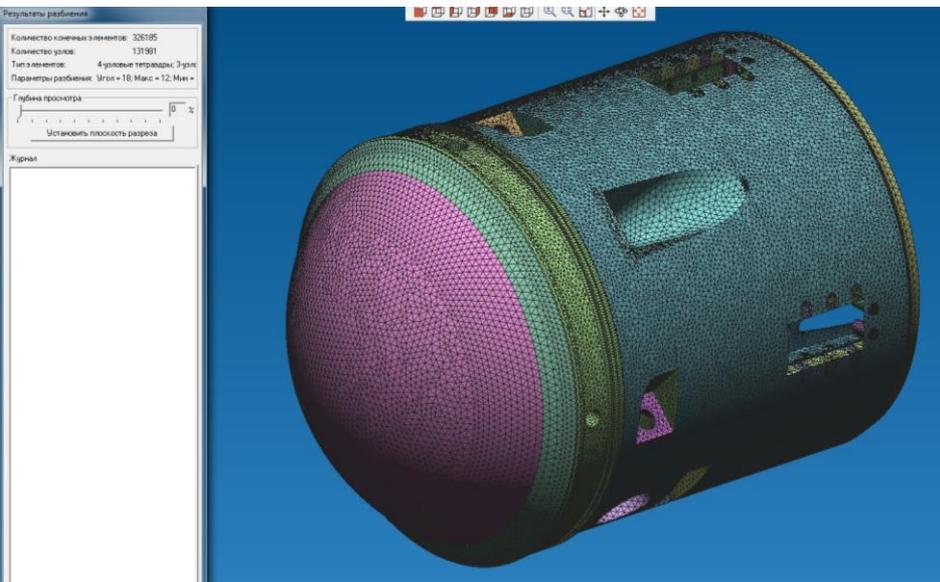
Сила приложена к кольцевой зоне трех отверстий крепления двигателей увода НО нормально к фланцу (с двух сторон симметрично).

Закрепление за цилиндрические отверстия пиростопоров крепления к изделию.

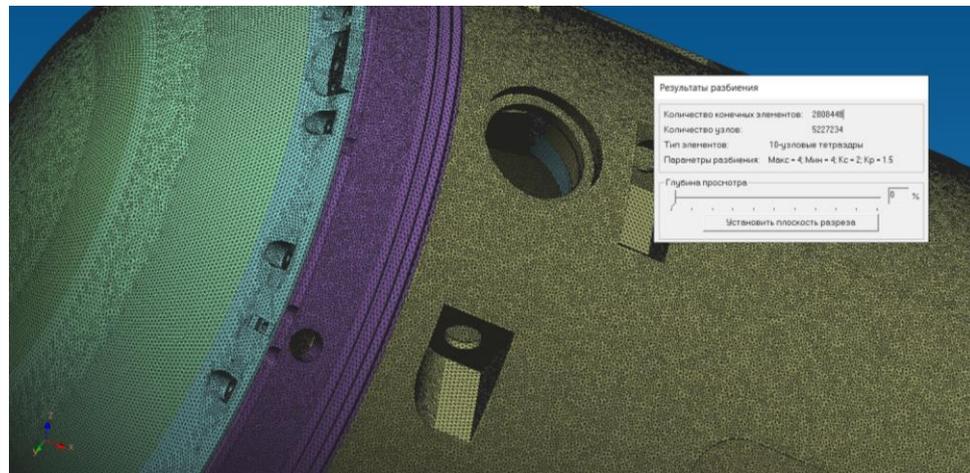


КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНАЯ СЕТКА

Модель с оболочечными элементами
(модель 1)



Твердотельная модель
(модель 2)



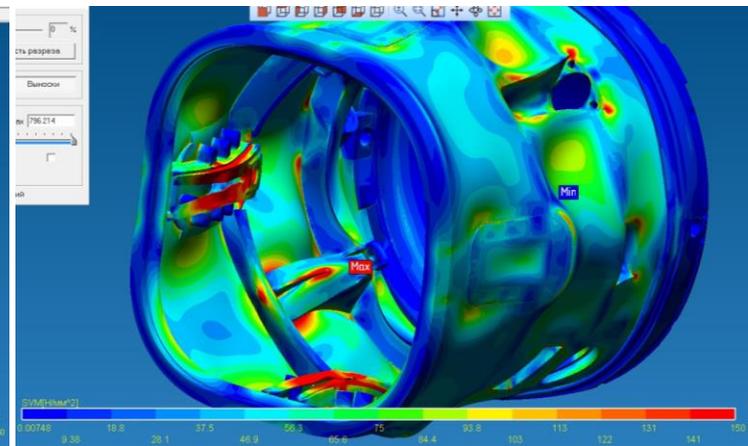
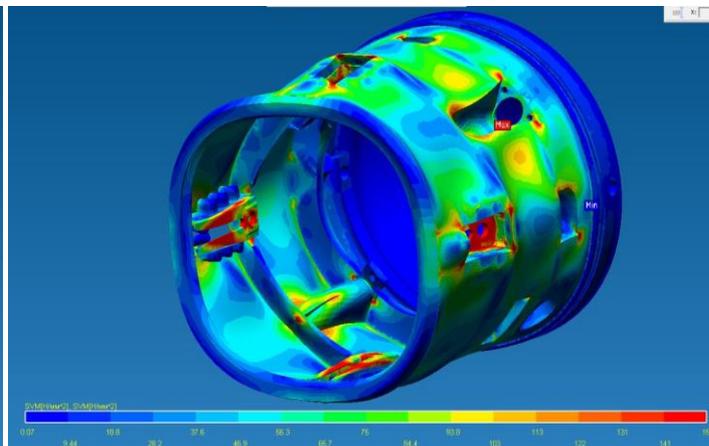
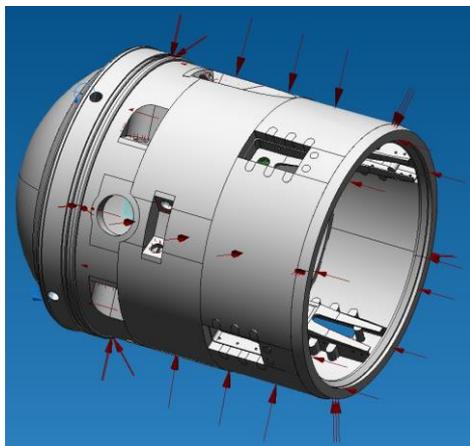


РАСЧЁТНЫЙ СЛУЧАЙ 1 (ДАВЛЕНИЕ НА КОРПУС И МОМЕНТ ИЗГИБА)

Расчётная модель

Распределение напряжений
в модели 1

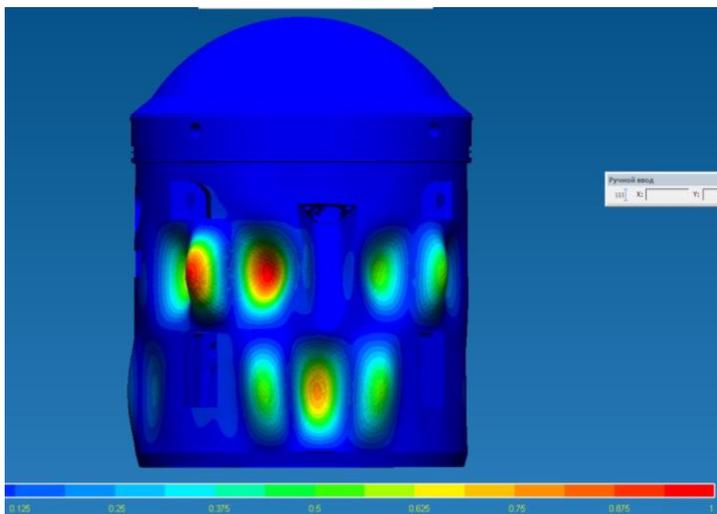
Распределение напряжений в
модели 2



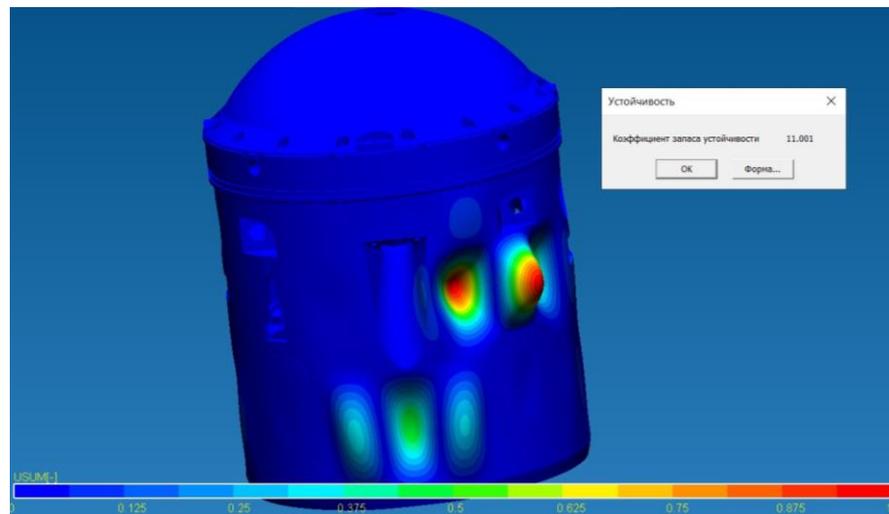


РАСЧЁТНЫЙ СЛУЧАЙ 1, РАСЧЁТ УСТОЙЧИВОСТИ

Распределение деформаций при потере устойчивости в модели 1



Распределение деформаций при потере устойчивости в модели 2



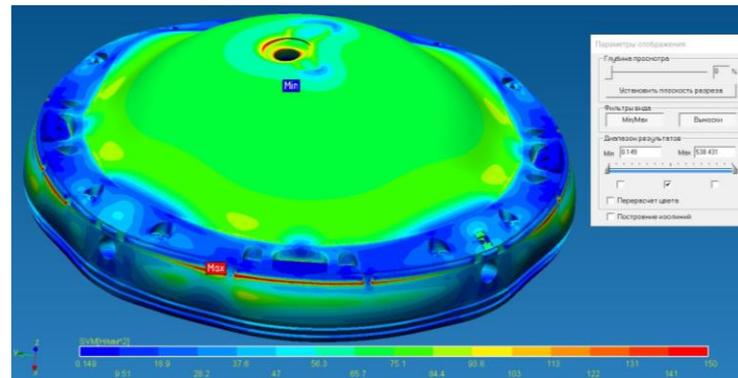
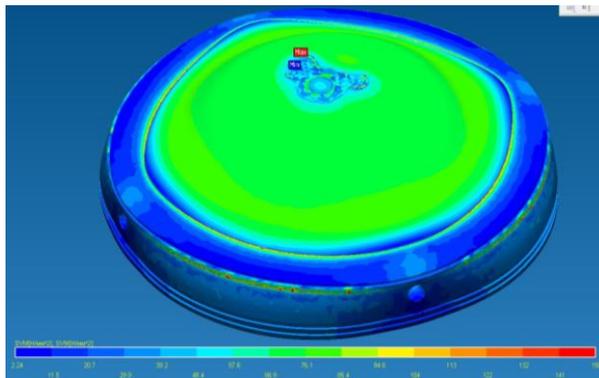
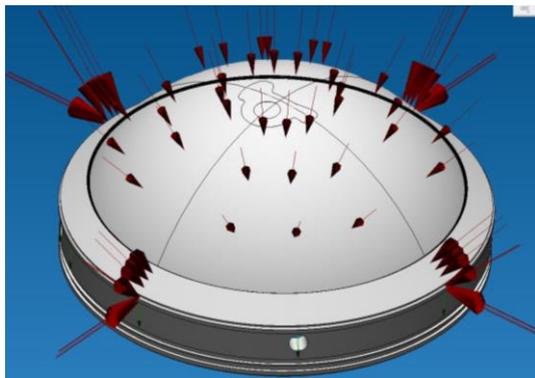


РАСЧЁТНЫЙ СЛУЧАЙ 2 (ДАВЛЕНИЕ НА ДНИЩЕ)

Расчётная модель

Распределение напряжений
в модели 1

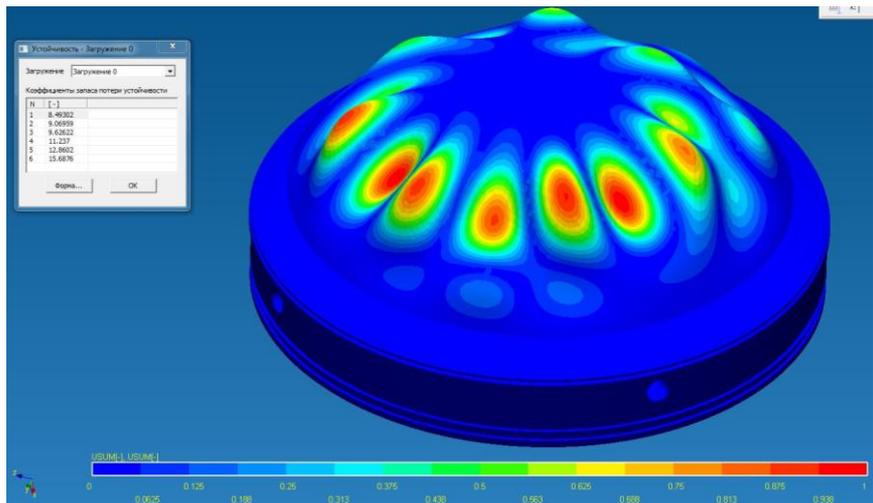
Распределение напряжений в
модели 2



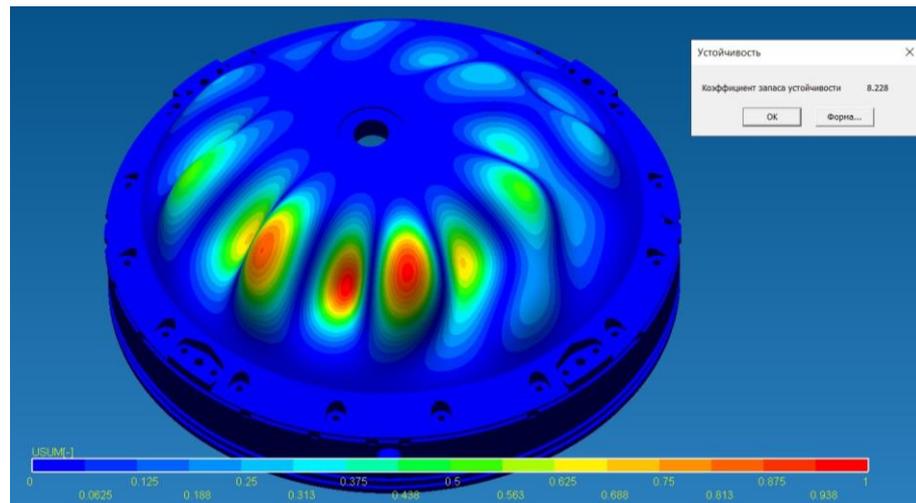


РАСЧЁТНЫЙ СЛУЧАЙ 2, РАСЧЁТ УСТОЙЧИВОСТИ

Распределение деформаций при потере устойчивости в модели 1



Распределение деформаций при потере устойчивости в модели 2



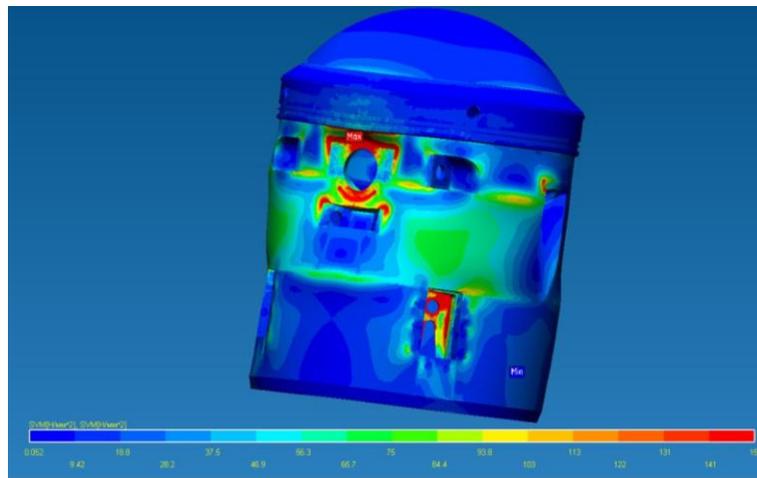


РАСЧЁТНЫЙ СЛУЧАЙ 3 (РАЗВОРОТ ПО ТАНГАЖУ)

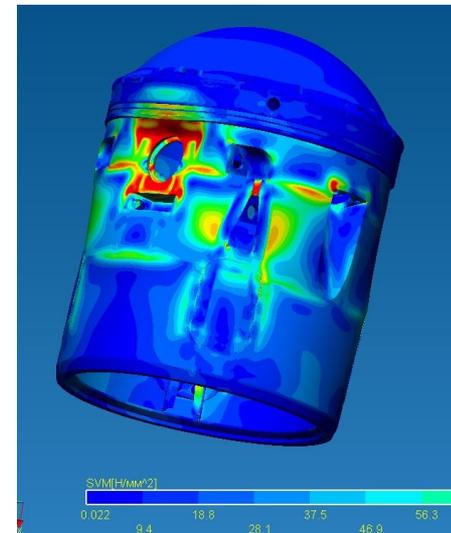
Расчётная модель



Распределение напряжений
в модели 1



Распределение
напряжений в модели 2



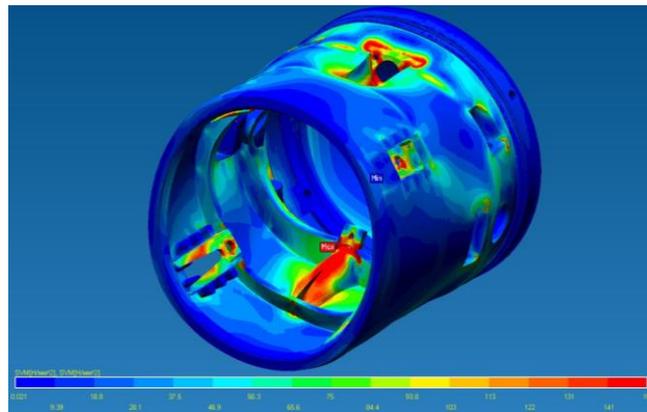


РАСЧЁТНЫЙ СЛУЧАЙ 4 (УВОД НОСОВОГО ОБТЕКАТЕЛЯ)

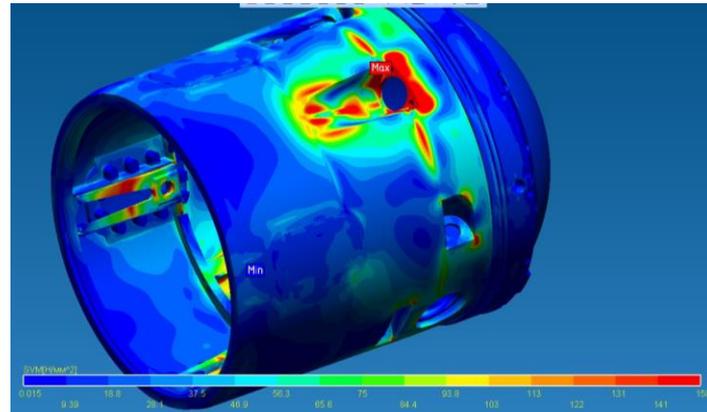
Расчётная модель



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)

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)

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 осям

относит. горизонтальной оси [мм ⁴]	2.93206e+09
относит. вертикальной оси [мм ⁴]	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

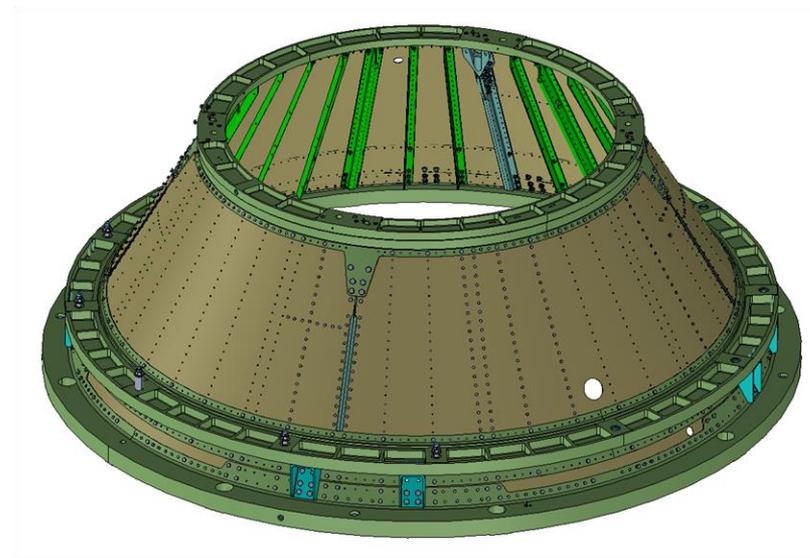
Сила затяжки [Н]	13329.3
Максимальная нагрузка на болт [Н]	20357.1
Максимальное давление [МПа]	0.353656
Диаметр болта [мм]	8
Момент заворачивания [Нм]	23.0309
Момент трения в резьбе [Нм]	11.9922
Момент трения на торце гайки [Нм]	11.0387

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.

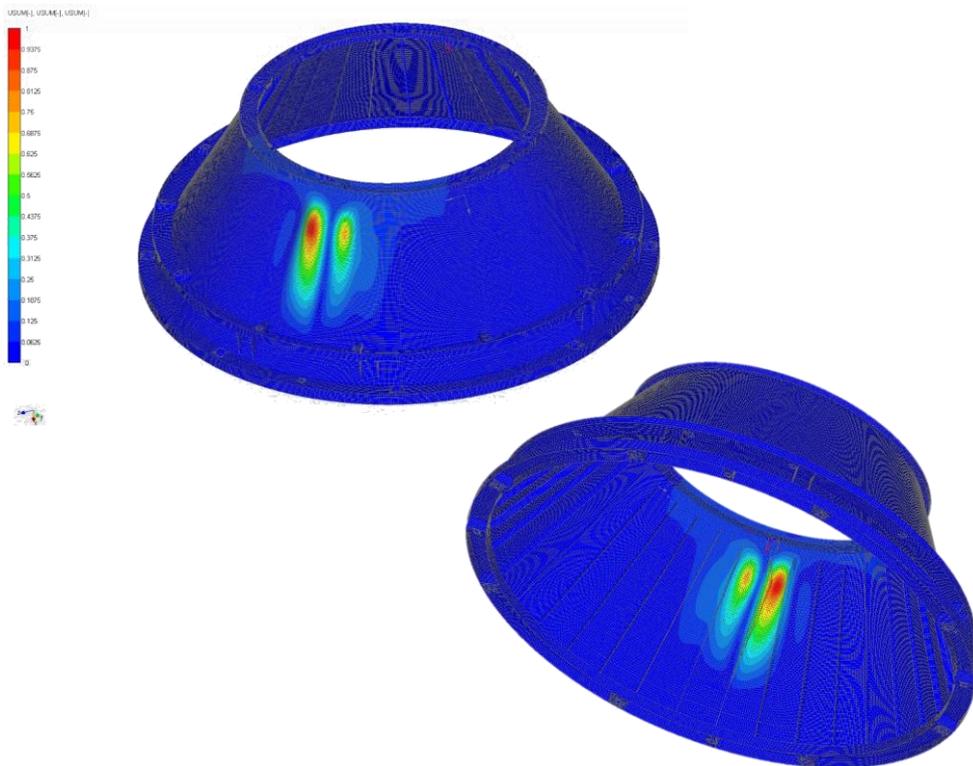




РАСЧЕТ КОРПУСА АДАПТЕРА НА УСТОЙЧИВОСТЬ

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.



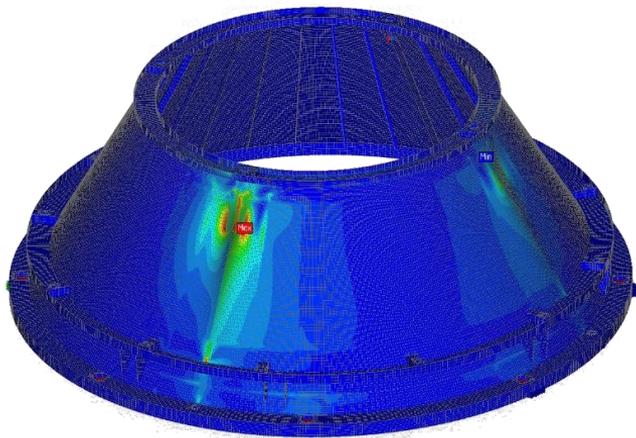


СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

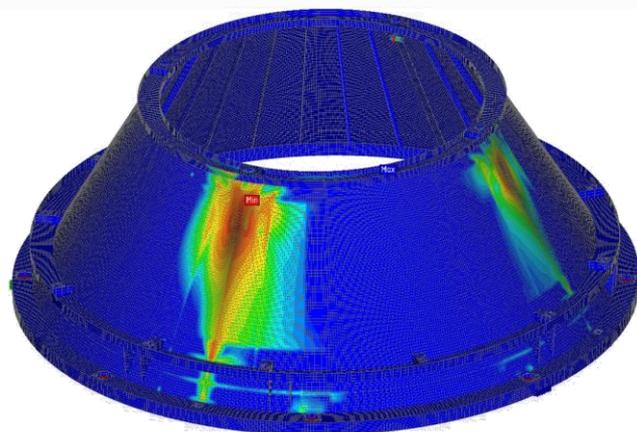
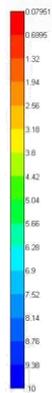
Необходимо увеличить коэффициент запаса по прочности.

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]



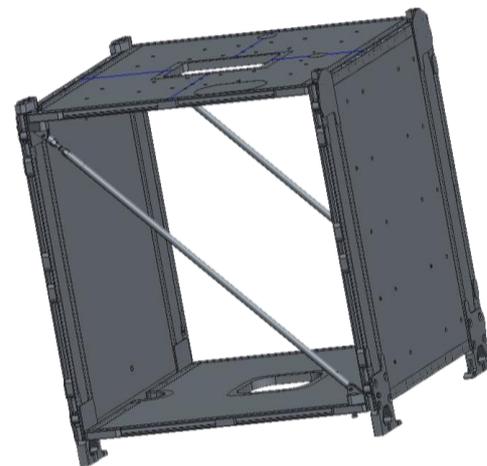
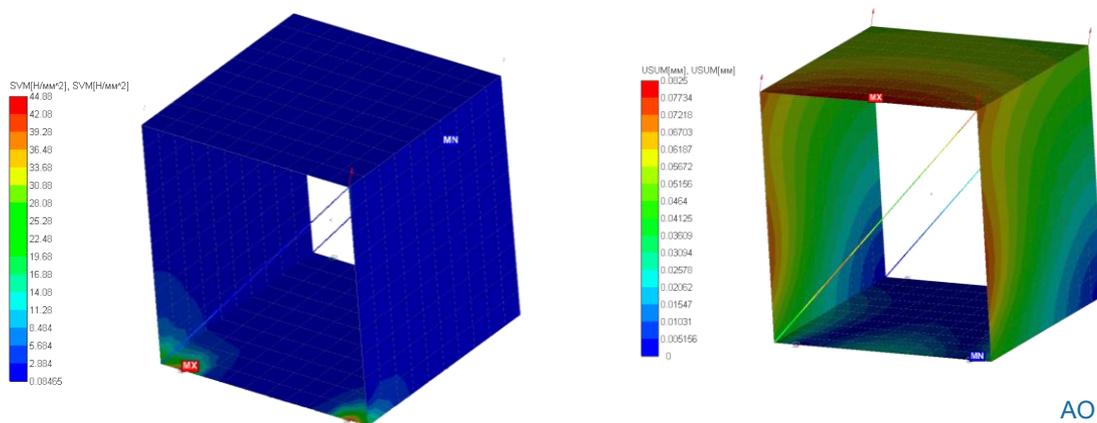
Коэф. запаса по пределу прочности[S/M], Коэф. запаса по пределу прочности[S/M], Коэф. запаса по пределу прочности[S/M]





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»