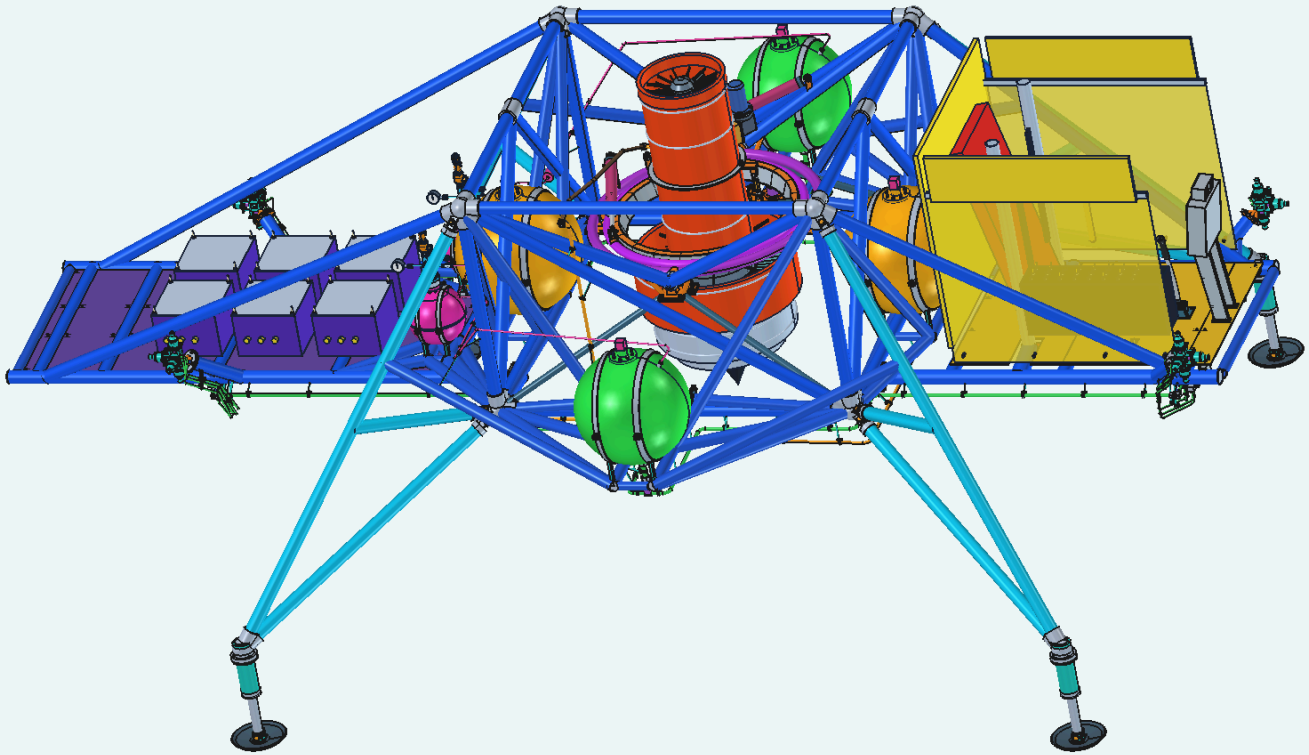
Лист 01

Сборка со стороны кабины

Каркас, четыре опоры, центральный CF700 и кабина видны в сохранённой компоновке.

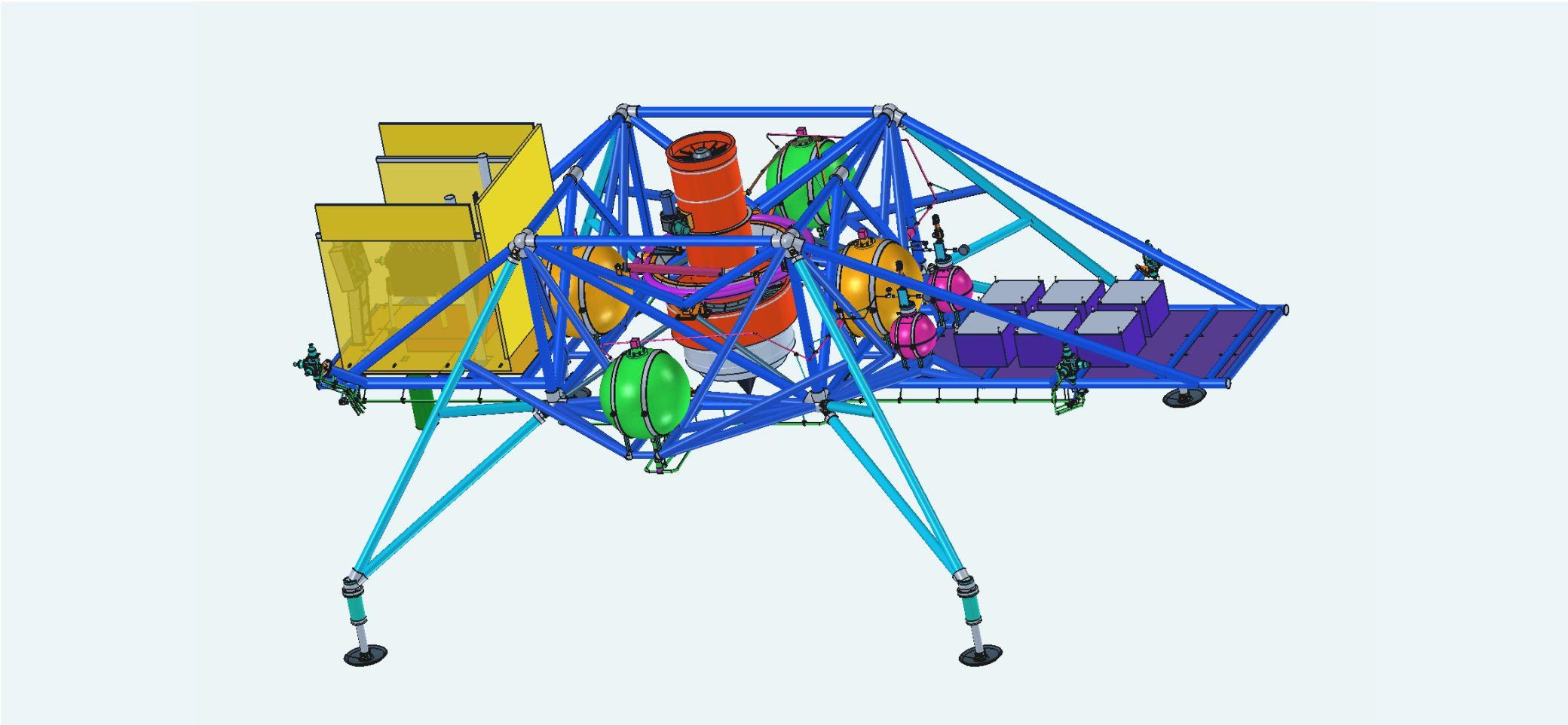


Одинаковые камера и масштаб на листах 05, 06 и 01

Лист 02

Сборка со стороны приборной площадки

Обратный ракурс показывает площадку оборудования, контур двигателя и крайние блоки RCS.

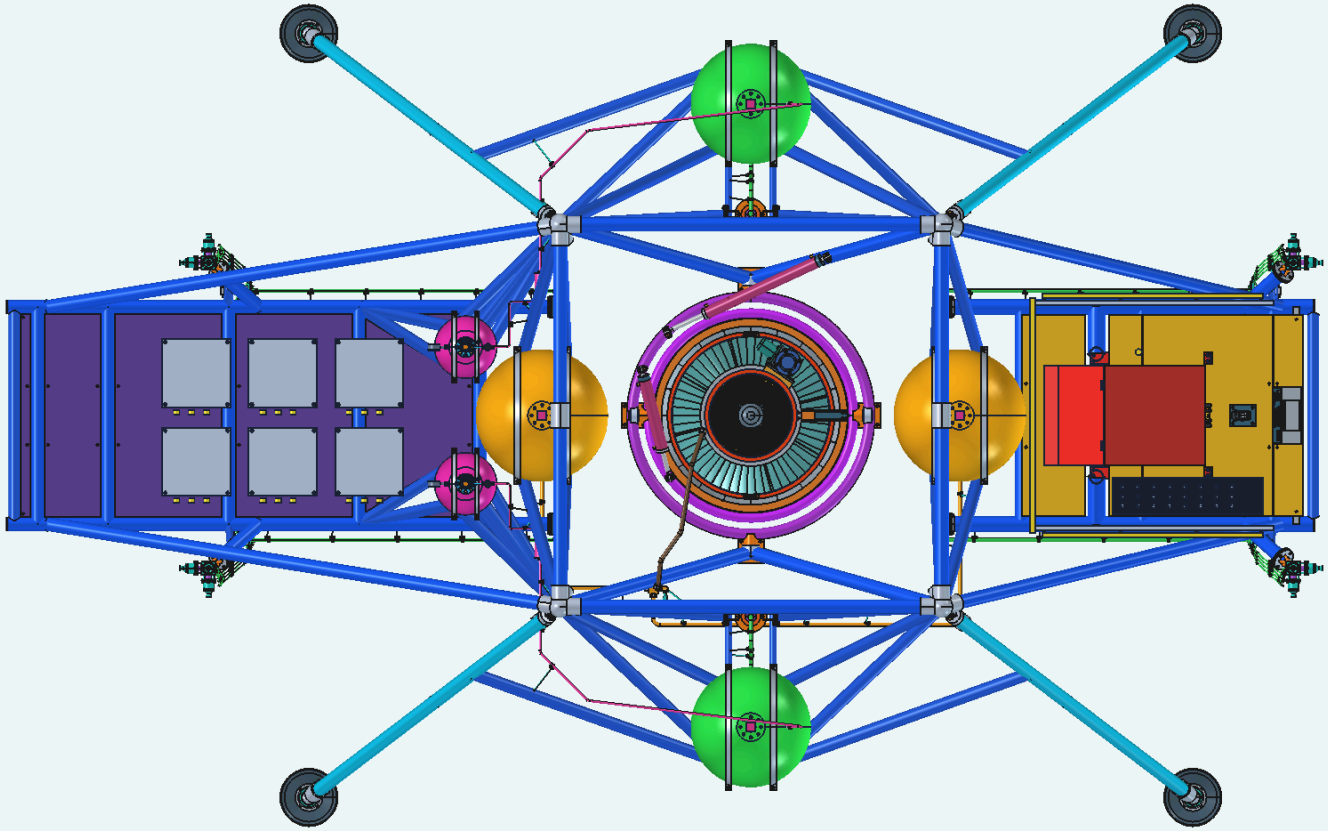


Сохранённые положения тел

Лист 03

Вид сверху

Разнесение баков, пилотской зоны и электроники читается относительно центральной оси.

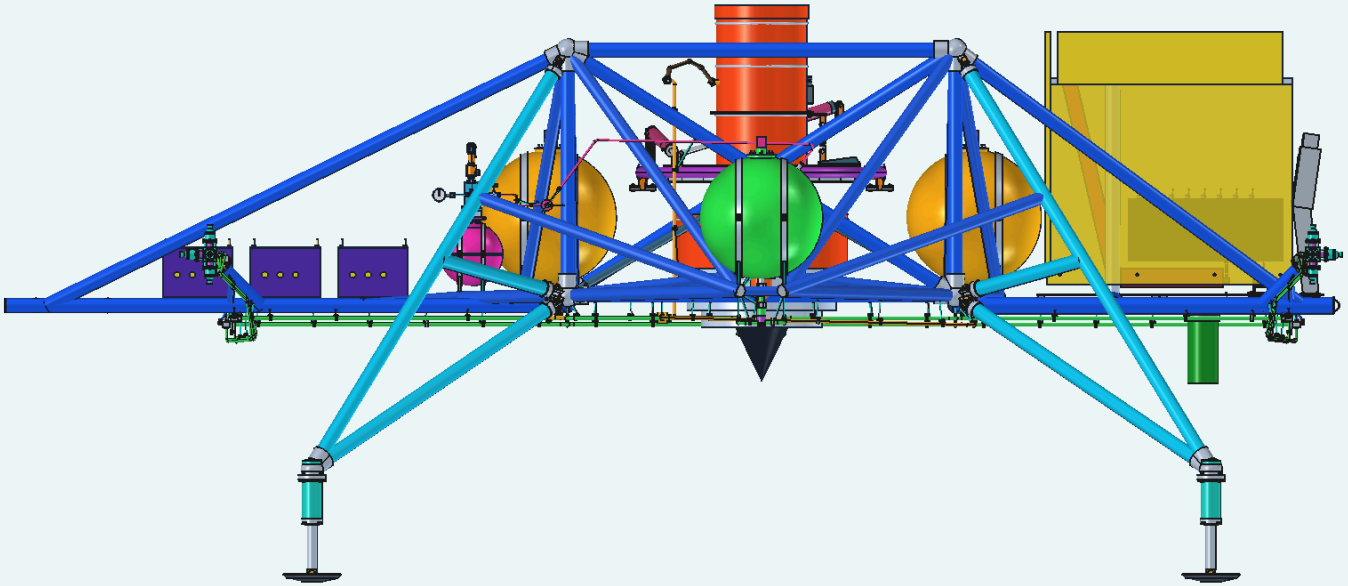


Сохранённые положения тел

Лист 04

Вид сбоку

Показано положение кабины и двигателя относительно каркаса и посадочных пят.

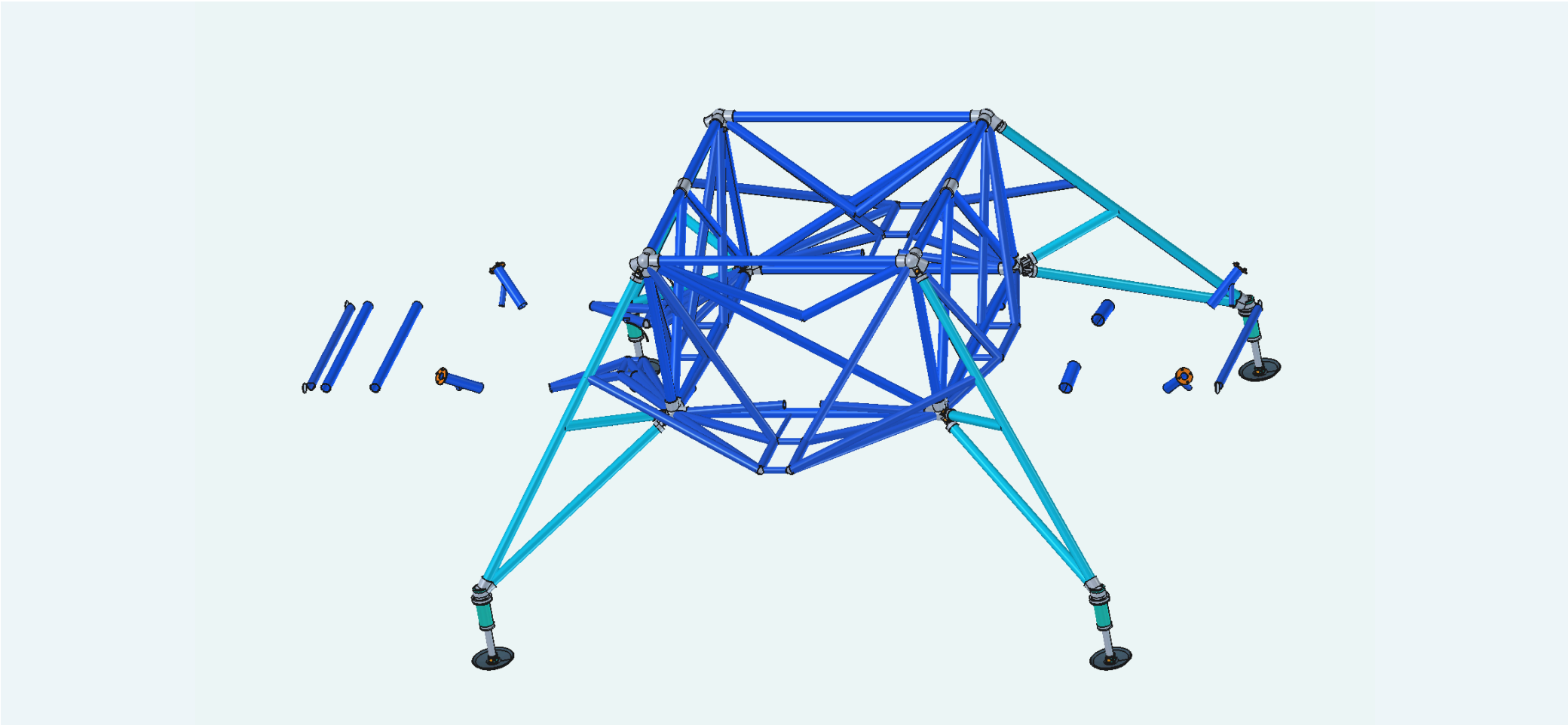


Сохранённые положения тел

Лист 05

Каркас и четыре опоры

Первый слой компоновки. Камера и масштаб общие с листами 06 и 01.

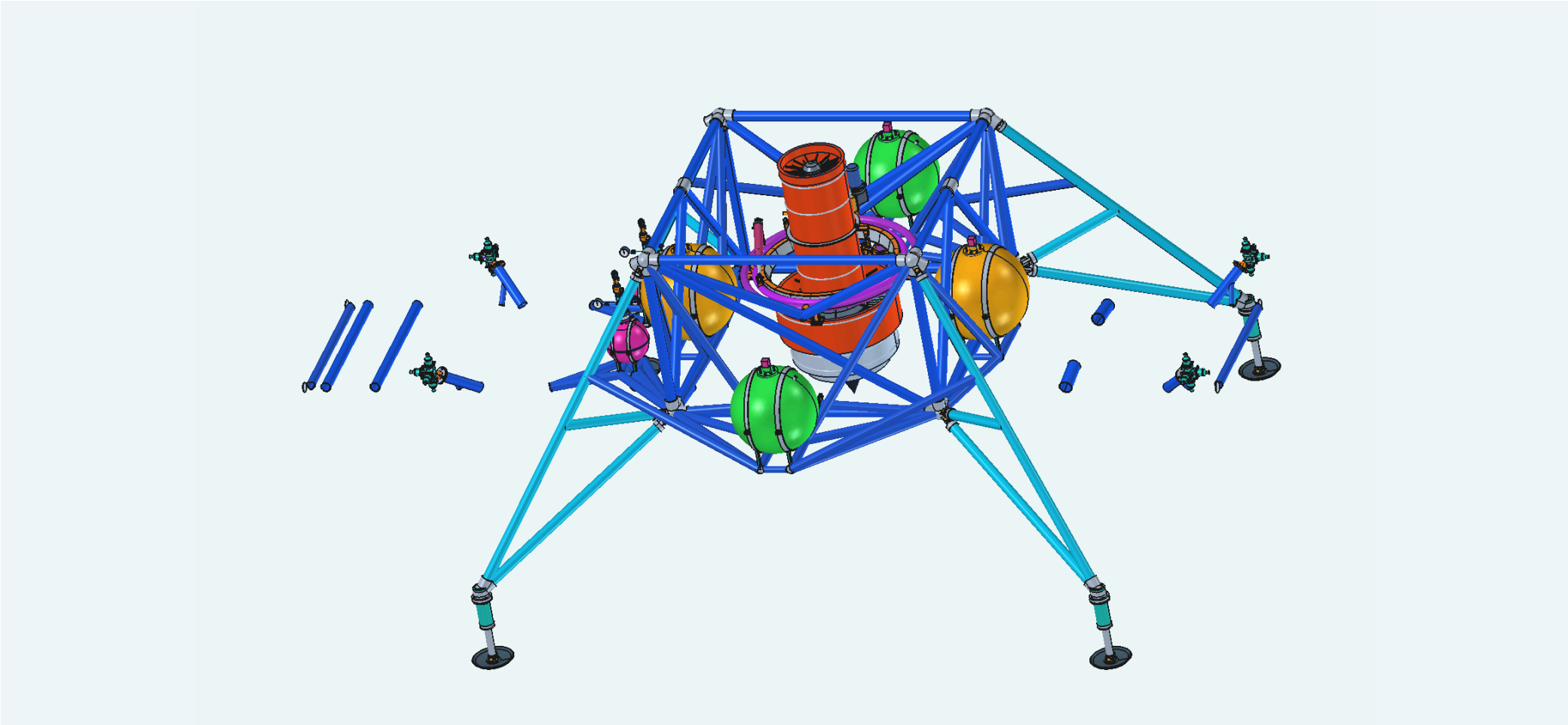


Одинаковые камера и масштаб на листах 05, 06 и 01

Лист 06

Каркас с силовыми системами

В том же ракурсе добавлены CF700 на кардане, баки, подъёмные двигатели и RCS. Полная компоновка показана на листе 01.

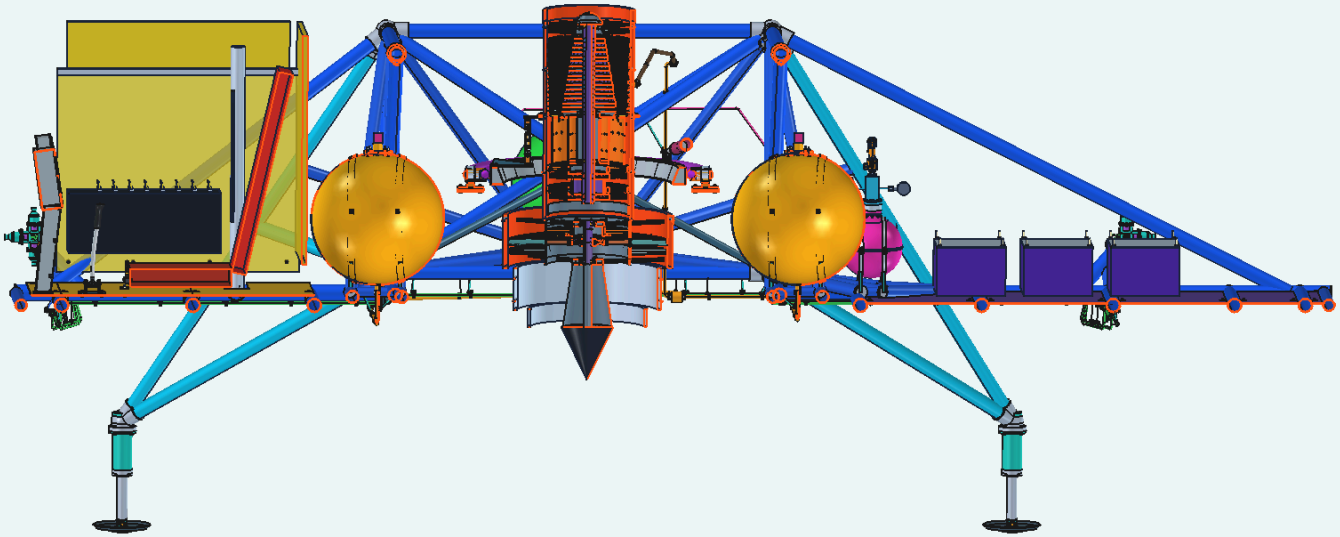


Одинаковые камера и масштаб на листах 05, 06 и 01

Лист 07

Продольный разрез

Y = 0 мм, сохранена сторона Y ≤ 0. Оранжевым показаны пересечения выбранных тел с плоскостью.

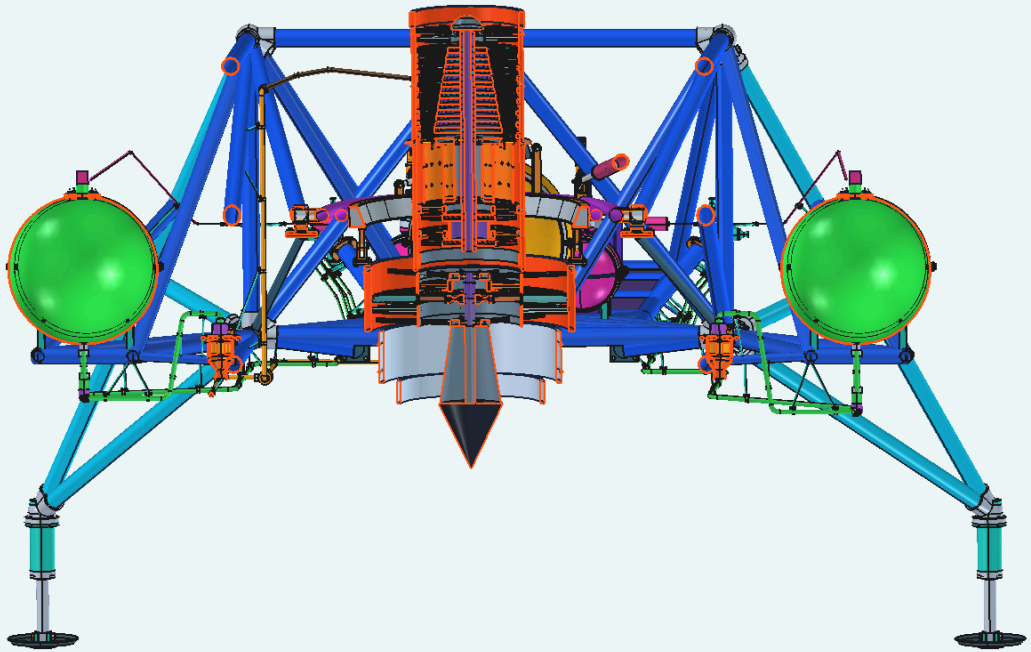


Контуры из OCC BRep · 801 рёбер в выбранных телах

Лист 08

Поперечный разрез

X = 0 мм, сохранена сторона X ≤ 0. Сечение проходит через центральный узел и плоскость поперечной компоновки.

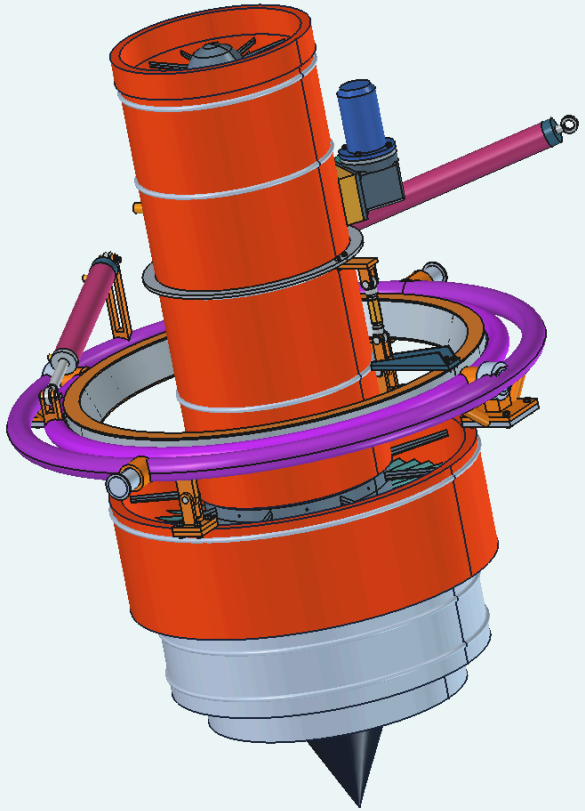


Контуры из OCC BRep · 767 рёбер в выбранных телах

Лист 09

CF700 и карданный подвес

Выделен двигатель в кольцах подвеса. Нативные цвета и положения деталей сохранены.

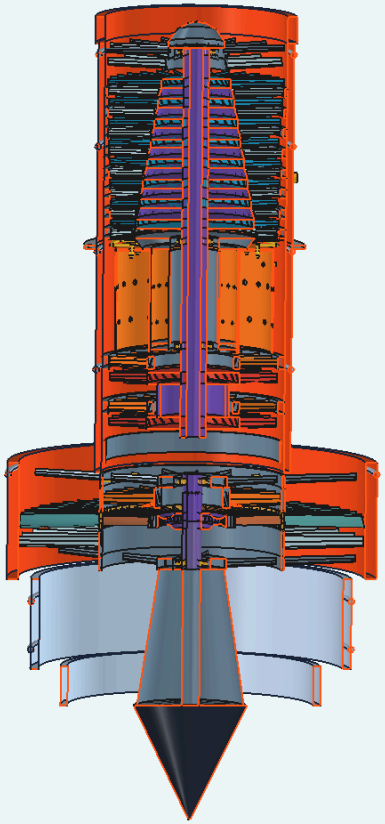


Крупный план или изоляция

Лист 09X

Продольный разрез CF700

Плоскость Y = 0 мм проходит по оси двигателя. Видны каналы и внутренняя компоновка роторов.

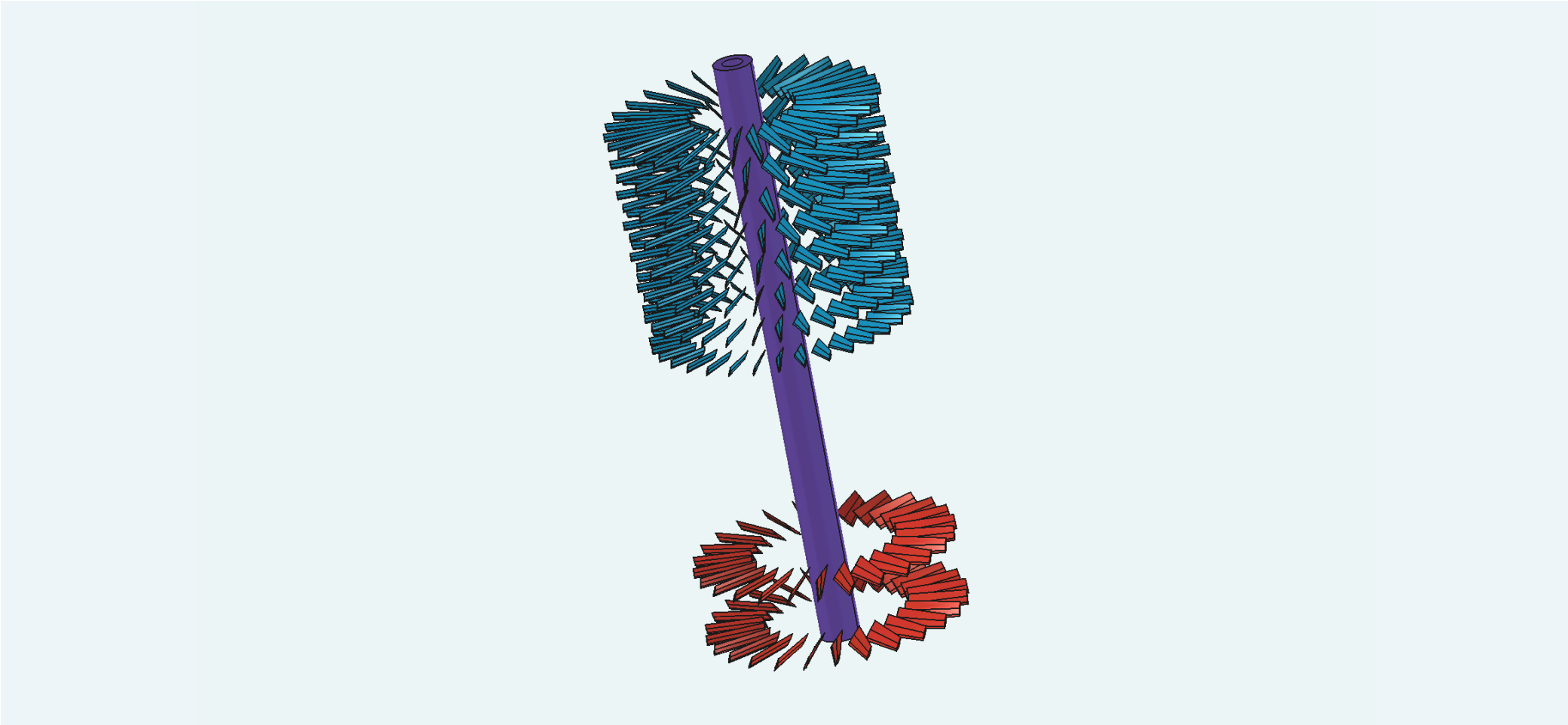


Контуры из OCC BRep · 515 рёбер в выбранных телах

Лист 10

Роторная группа CF700

Изолированы роторы, вал и выбранные детали вращающейся сборки. Модельное представление опирается на реконструкцию R4D.1.

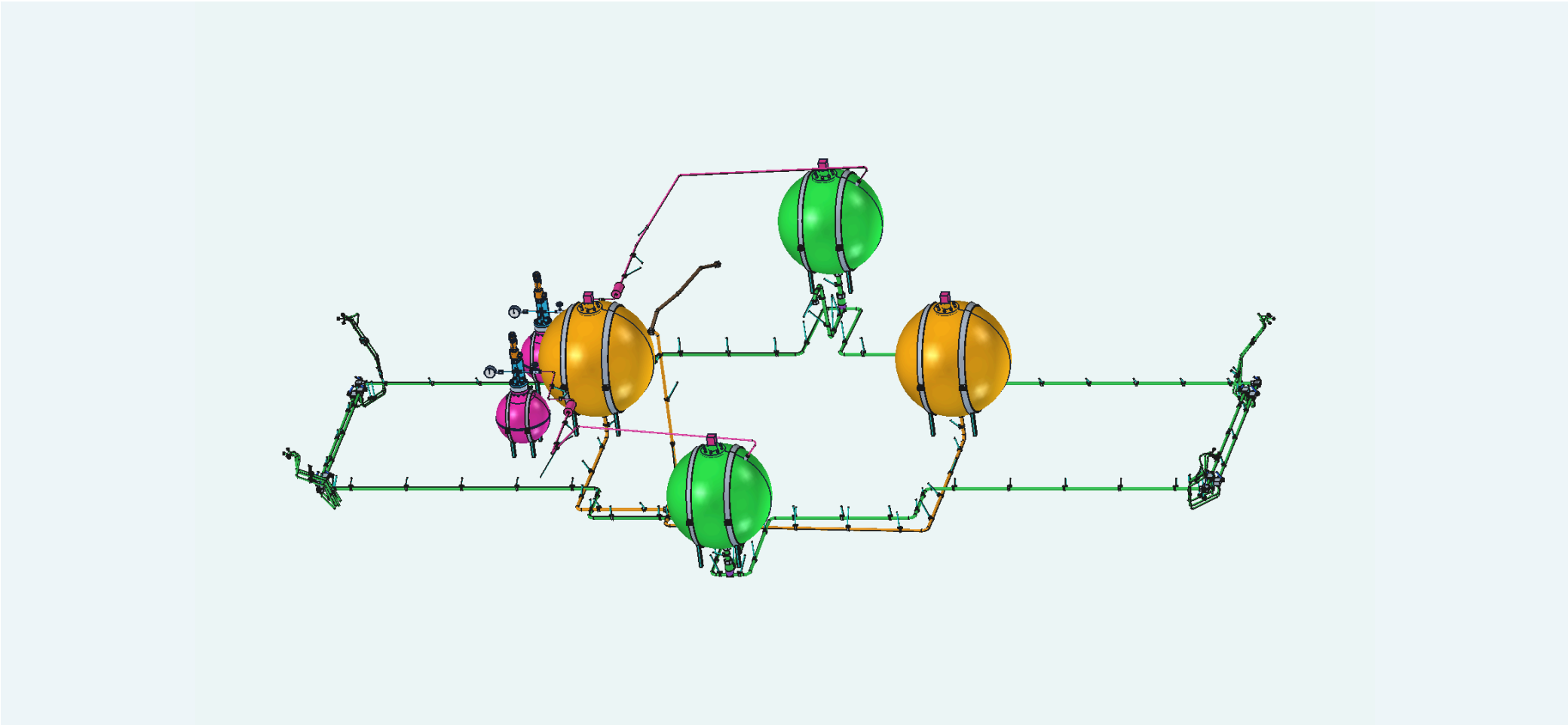


Крупный план или изоляция

Лист 11

Баки и трассы рабочих сред

Изолированы баки и трассы, включая подачу JP и подвод к подъёмным двигателям.

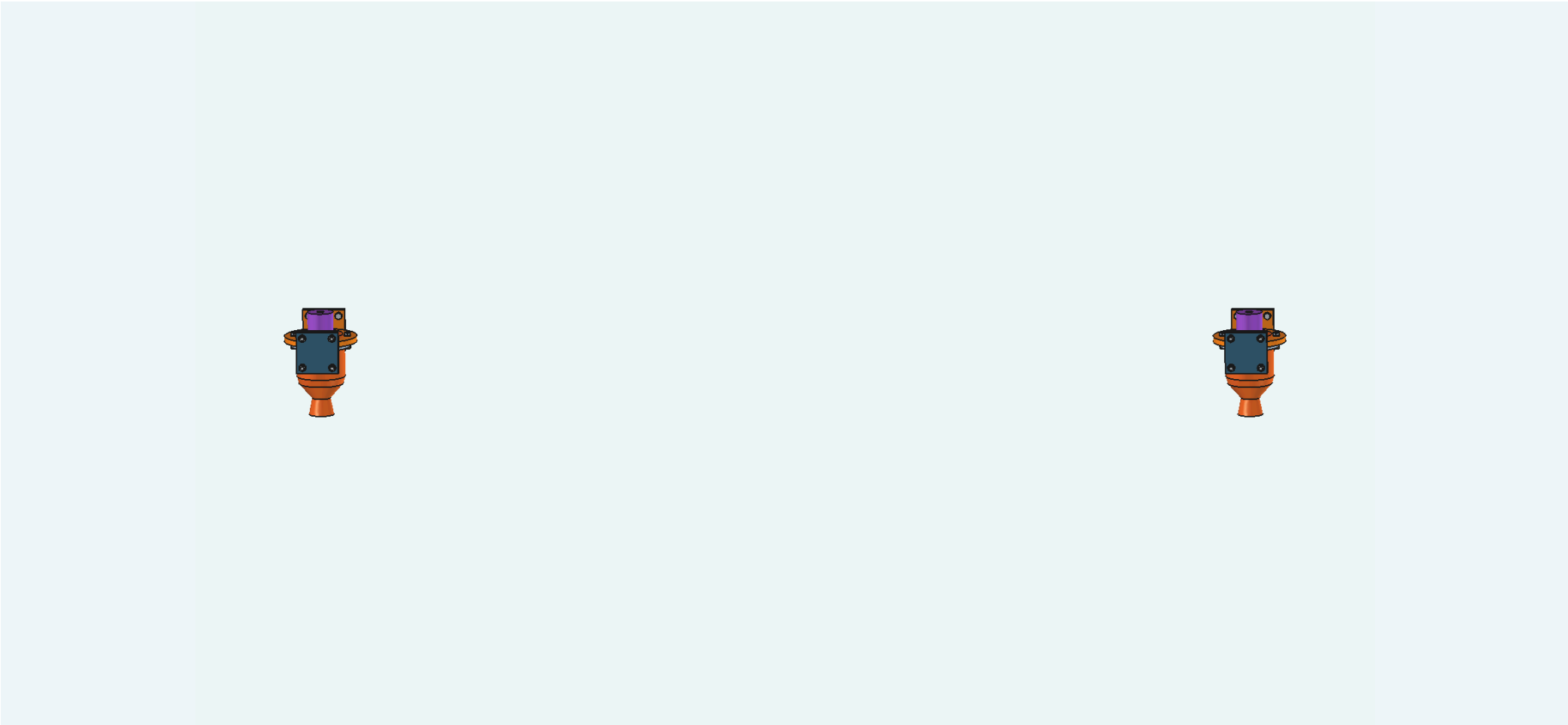


Крупный план или изоляция

Лист 12

Подъёмные двигатели

Два подъёмных узла показаны в штатных положениях. Ниже доступен крупный план одного узла.

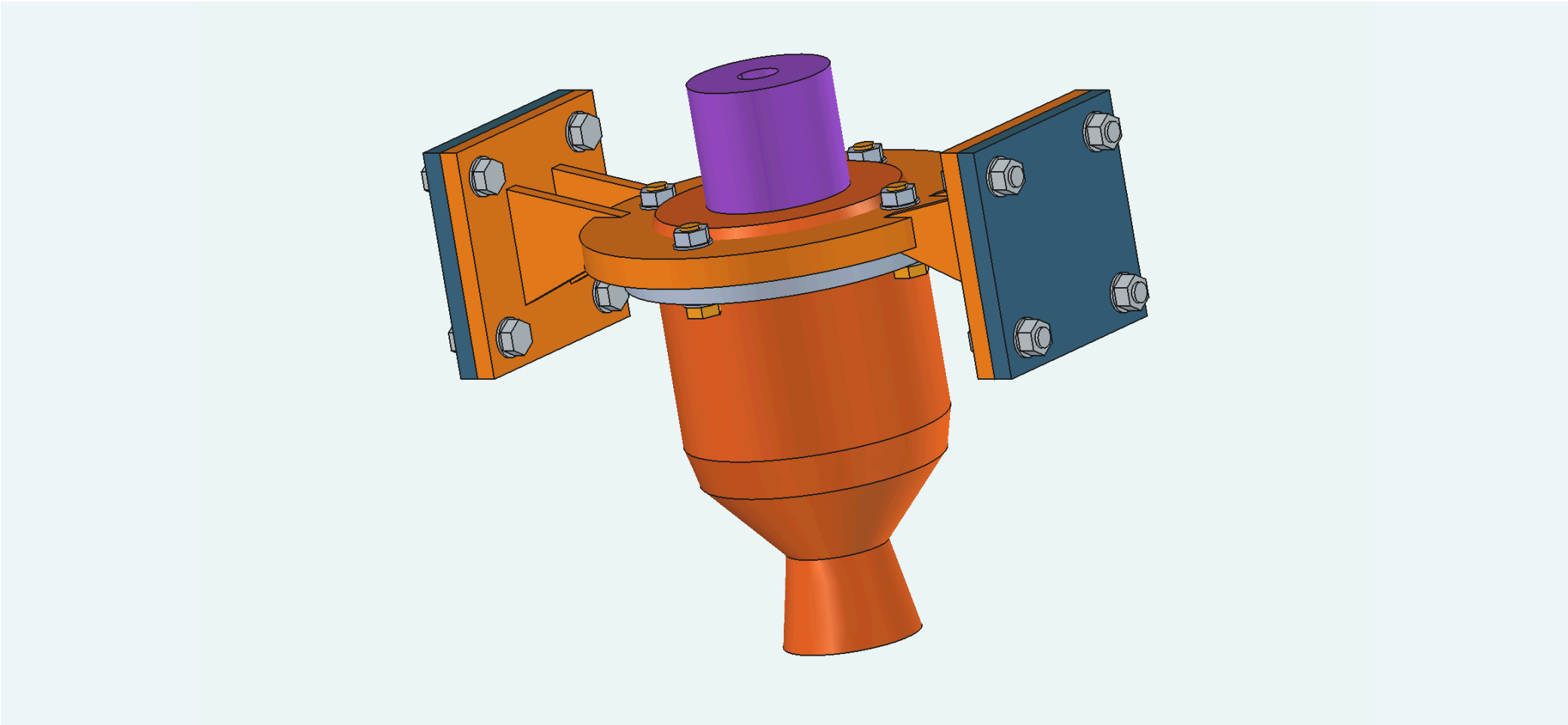


Крупный план или изоляция

Лист 12D

Подъёмный узел крупным планом

Выделен левый подъёмный узел с опорным интерфейсом.

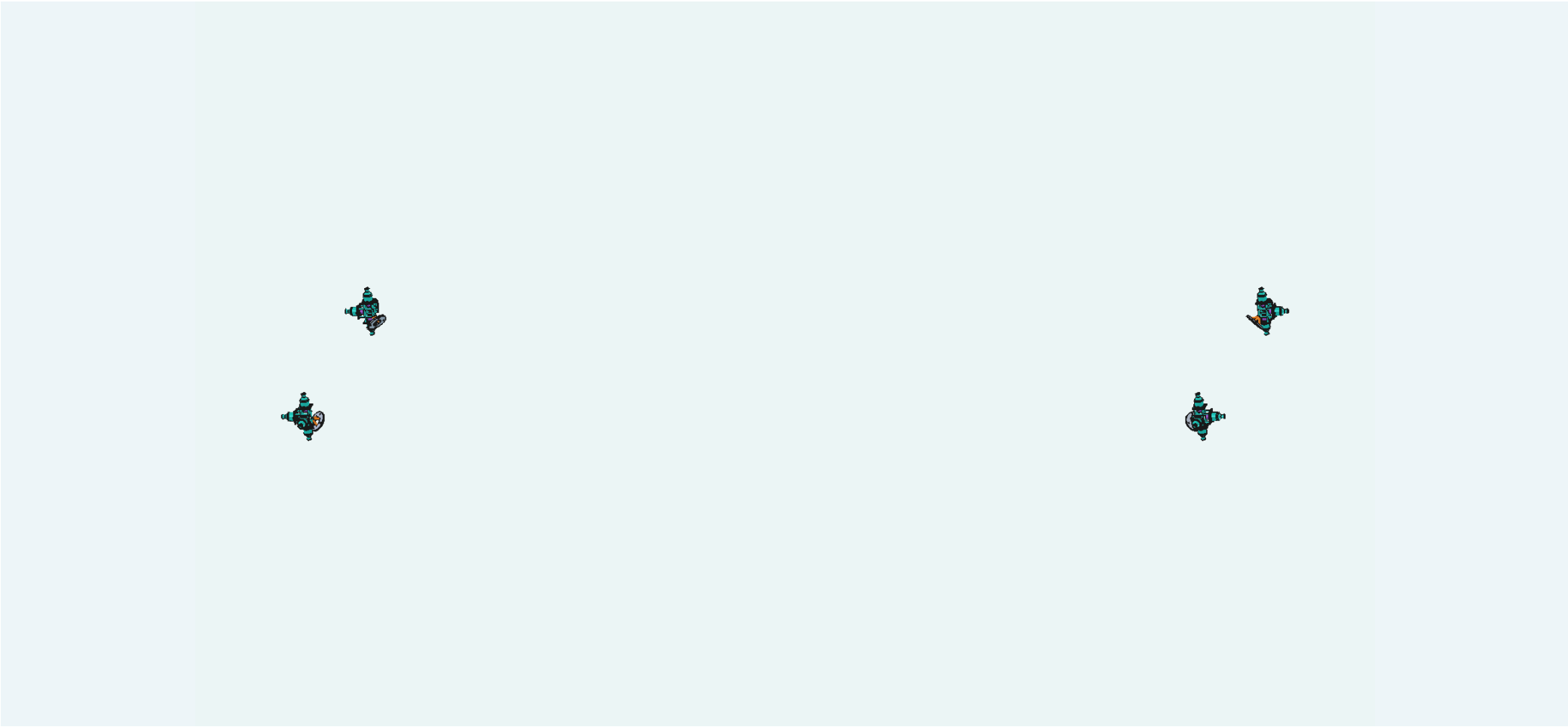


Крупный план или изоляция

Лист 13

Блоки ориентации RCS

Взаимное положение четырёх блоков. На крупном плане показан передний правый блок.

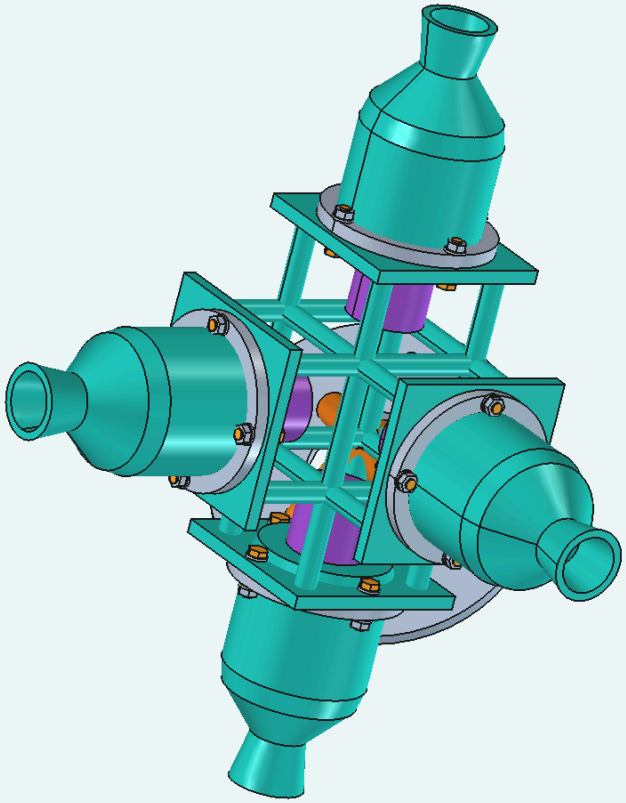


Крупный план или изоляция

Лист 13D

Передний правый блок RCS

Отдельный ракурс камер и крепления блока ориентации. Положение деталей взято из сборки.

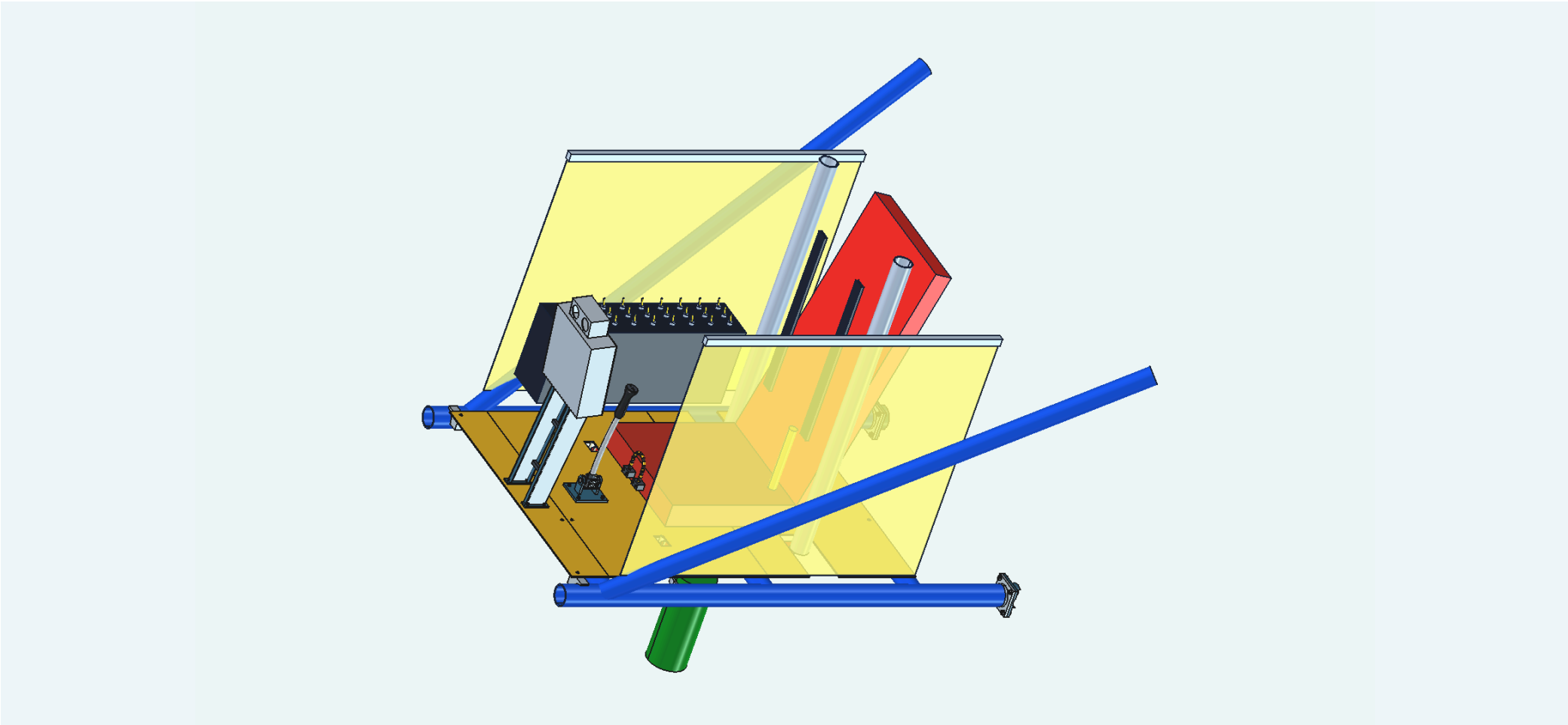


Крупный план или изоляция

Лист 14

Кабина и органы управления

Изолированы пилотское место, кресло, приборная панель и ручка управления.

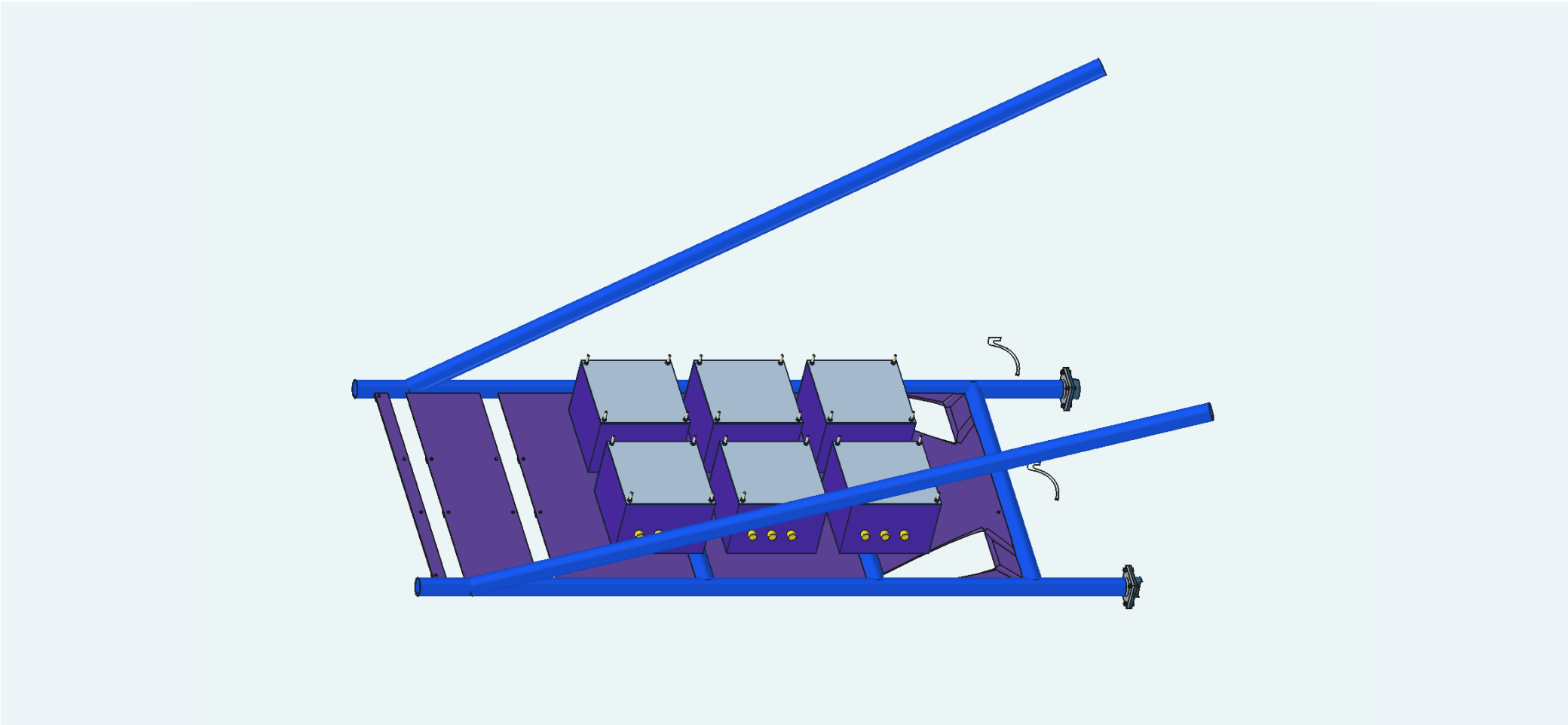


Крупный план или изоляция

Лист 15

Приборная площадка

Отдельный ракурс площадки электроники и корпусов оборудования.

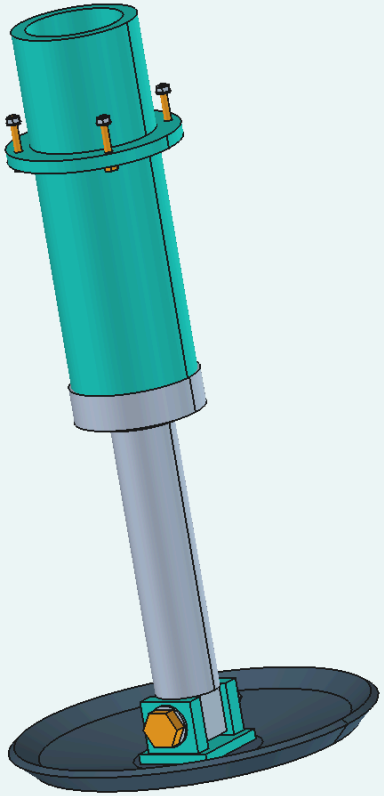


Крупный план или изоляция

Лист 16

Посадочная опора крупным планом

Показаны узел передней правой стойки и опорная пята в сохранённом положении.

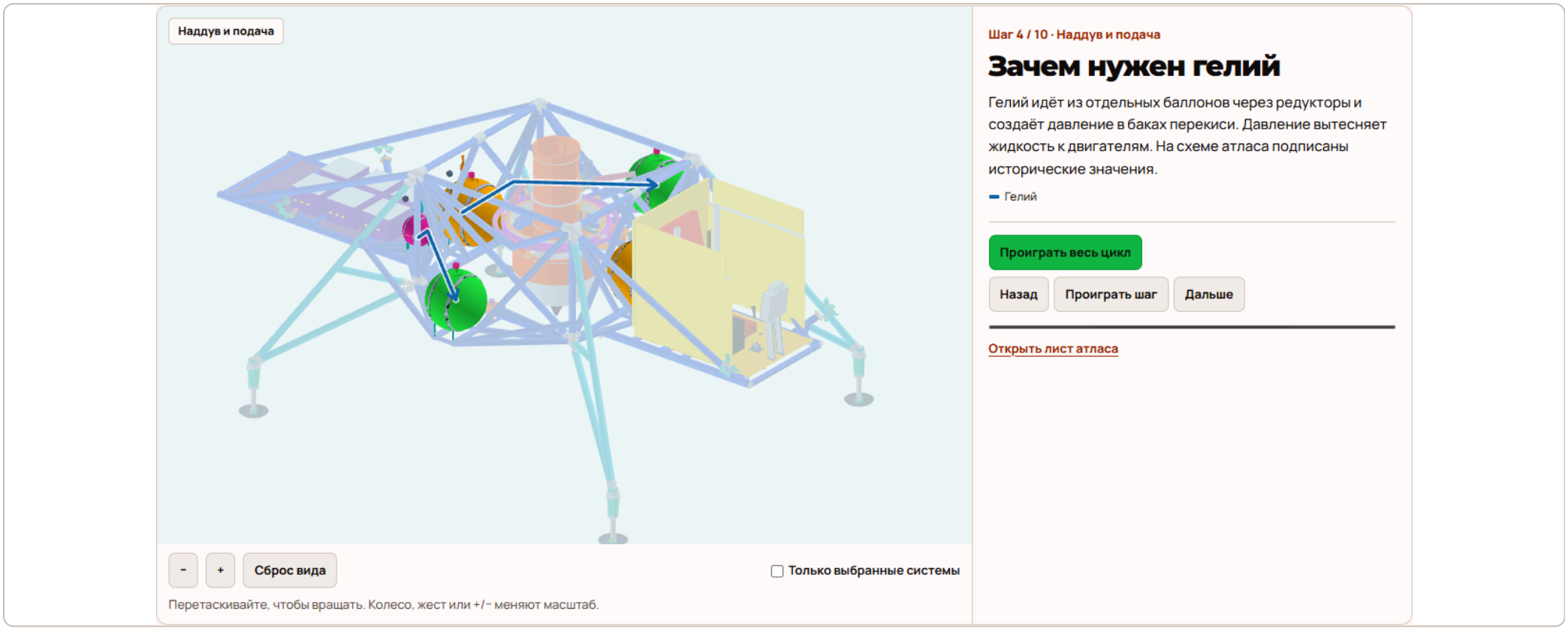


Крупный план или изоляция

Лист 28

Как это работает?

Пошаговый разбор на 3D-сборке LLTV. Начните с общего вида или выберите систему.



Шесть глав и десять шагов. Сборка вращается, выбранные узлы подсвечиваются, стрелки показывают направления потоков, команд и сил. На каждом шаге есть ссылка на соответствующий лист атласа.

Лист 00

Первое открытие FreeCAD

Камера и видимость взяты из файла. Кадр снят в отдельном процессе до смены ракурса и масок видимости.



Сохранённые положения тел

Лист 17

Масса, центровка и инерция

Массовые свойства рассчитаны по телам R4D.1 с модельными плотностями и заправкой.

Конфигурация	Масса, кг	ЦМ X / Y / Z, мм CAD	Главные моменты, кг·м²
Аппарат без пилота	1 173,77	-126,9 / -1,8 / -283,1	952,8 / 2 763,1 / 3 066,3
С пилотом, без заправки	1 252,77	4,7 / -1,7 / -265,2	957,1 / 3 093,4 / 3 394,1
Частичная заправка	1 510,81	3,2 / -1,4 / -278,4	1 315,8 / 3 222,9 / 3 876,3
Полная расчётная заправка	1 768,07	2,7 / -1,2 / -256,0	1 678,4 / 3 354,9 / 4 357,7

Положение кардана нейтральное. Ось Z CAD направлена вверх. В расчёт включён условный пилот массой 79 кг; при полном сценарии массы и тензоры получены из модели, контрольное взвешивание отсутствует.

Ведомость и полный тензор

Лист 18

Полёт и посадочный резерв

Примеры из воспроизводимых сценариев 6DoF для одной модели R4D.1.

Сценарий	В воздухе, с	Смещение, м	Сверх резерва, кг JP / H_2O_2
Перенос до 1 м/с, штиль	97,76	67,0	184,99 / 1,02
3 м/с, штиль, повтор	92,76	87,0	185,35 / 2,07
3 м/с, встречный 2 м/с, повтор	94,75	47,0	184,86 / 0,20
Боковой порыв до 3,5 м/с и круг	86,74	16,5	185,54 / 1,29



Дальность — смещение до места посадки. В режиме бокового порыва и круга полная длина пути составляет 32,3 м. Запасы вычисляются к началу снижения или первого захода, согласно сценарию.

Открыть расчёт в 3D-плеере · Численный протокол · Техническое видео

Лист 19

Исторические данные и модель

Архивные результаты LLRV служат ориентирами для расчётного R4D.1. Для NASA 952 нужна собственная синхронная телеметрия.

Данные	Применимость	Источник
NASA 952	CF700-2V и кардан подтверждены историческими источниками.	PHO-TR474
Наземная проверка кардана LLRV	Время нарастания 0,4 с при проверке замкнутого контура.	NASA TN D-3689, Fig. 16
Подъём и управление LLRV	Паспортные данные исторических двигателей. Переход отклика R4D.1 требует калибровки.	NASA TN D-3023, Table IV
R4D.1, цифровая модель	6DoF, модельная аэродинамика и дискретный контакт с площадкой. Точность реального полёта не оценена.	mission_summary.json

Лист 20

ТЗ и следующие проверки

Статус по рабочему треку моделирования. Результаты CAD и численного эксперимента показаны с областью применимости.

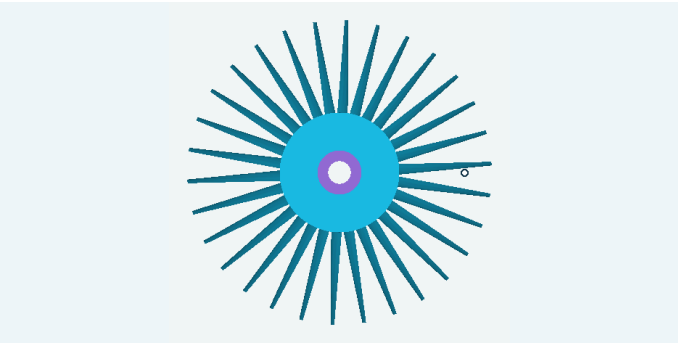
Пункт трека	Проверка	Текущий результат и остаток
T01 / T19	Паспорт, оси и происхождение геометрии	Сборка и SHA-256, фото первого открытия.
T08	Массово-инерционная база	Нативная оценка готова. Контроль массы, тензора и центровки по измерениям остаётся открытым.
T06 / T07 / T12	Динамика исполнительных каналов	Исторические ориентиры собраны. Требуется независимая идентификация отклика и ограничений.
T08 / T04 / T11	Замкнутая модель полёта	Полная миссия, ветер и повторные заходы воспроизводятся. Требуются замеры и независимая проверка по телеметрии.

ТЗ и трек расчётной разработки · Карта кадров, узлы и SHA-256

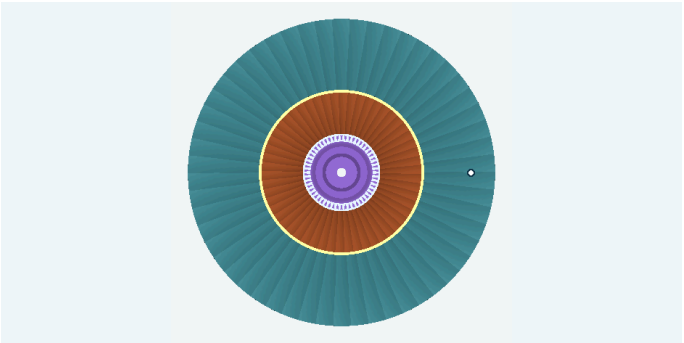
Лист 21

Разработка узлов CF700

Архивные материалы той же ревизии по устройству и проверкам двигателя.



Осевая компоновка ядра



Осевая компоновка вентилятора



Лопатка и паз · архив

В архивной проверке зафиксированы 154 объекта двигателя и 135 валидных тел разреза. В исходной ведомости двигатель учтён массой 285 кг через эквивалент.

Архивная интерактивная схема CF700 · **Детализированный CAD-разрез** · **Протокол проверки**

Лист 22

Манёвры и расход рабочих сред

Из исходного исследования перенесены выбранные численные сценарии с понятной физической интерпретацией.

Расчётный сценарий	Полный цикл, с	JP, кг	H_2O_2, кг
Взлёт и посадка на месте	43	9,389	99,245
Дополнительное висение 10 с	53	12,007	127,735
Поворот на 360° по рысканию	78	18,343	197,076
Перенос на 8 м	47	10,438	112,087
Перенос, подъём и разворот 30°	57	13,037	140,037

Длительность и расход относятся ко всему циклу, включая этап на опорах. Поворот на 360° выполнен по рысканию в расчётной модели.

CSV по фазам · CSV по манёврам

Лист 23

Материалы проекта

Расчётные стенды, геометрические проверки и оценки производства собраны в одном указателе.

Комплект	Что в нём	Файлы
Вычислительный стенд	Программа и воспроизведение численных тестов, включая NASA NESC. Есть отдельная привязка к ранним расчётным данным.	Программа · NESC
Геометрия CF700 и обмен CAD	Проверка пересечений в нейтральной позе и протокол повторного чтения внешнего STEP.	CAD · AP242
Рабочие среды	Датированный отчёт с разложением JP и H_2O_2 по фазам и манёврам.	Отчёт
Производство и разработка	Архивная сравнительная смета с исходными допущениями. К листам компоновки относится только LLTV.	CSV · JSON

Лист 24

Подача перекиси и наддув

Выберите узел на функциональной схеме.

Баллоны гелия

4 000 psig

≈ 276 бар изб. · номинальная заправка LLTV

Редуктор

495 psig

≈ 34,1 бар изб. · выход редуктора LLTV

Баки H_2O_2

≈ 34,1 бар изб.

Номинальный наддув от редуктора

Подача к двигателям

—

Зависит от расхода и режима

Подъёмные двигатели

325 psia

≈ 22,4 бар абс. · камера LLRV при максимальной тяге

Двигатели RCS

319 psia

≈ 22,0 бар абс. · камера LLRV при максимальной тяге

Гелий → наддув баков H_2O_2 → жидкая перекись → подъёмная пара и RCS

> Гелий служил источником давления. Он вытеснял жидкость из баков через систему наддува.

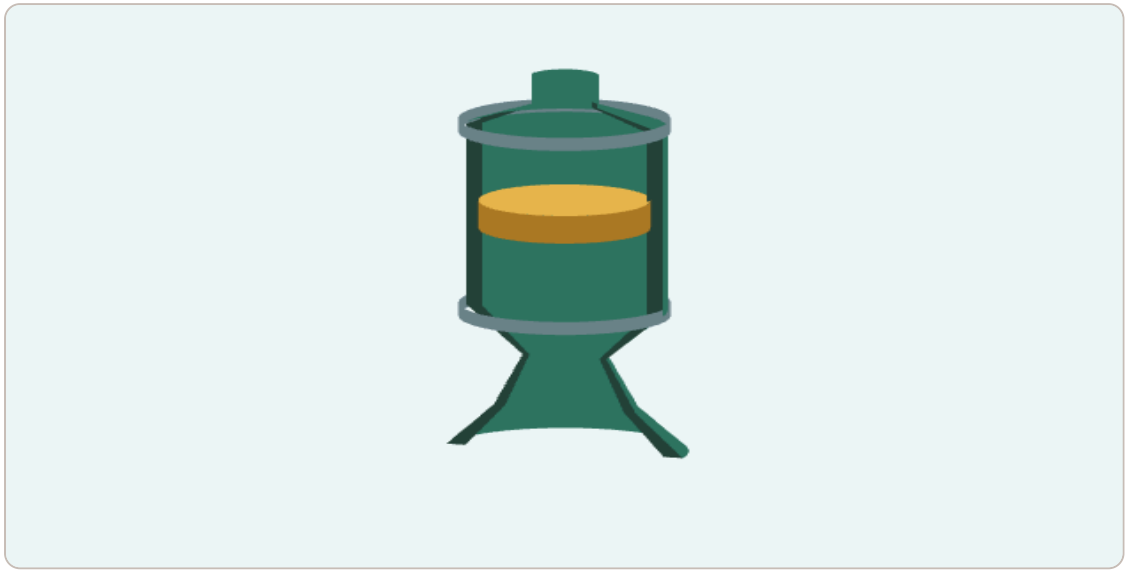
Функциональная схема. Bell документирует наддув LLTV. Для камер указаны паспортные значения раннего LLRV. Давления в отдельных линиях NASA 952 не подтверждены. psig — относительно атмосферы, psia — относительно вакуума.

NASA TN D-3023, таблица IV · Привязка значений к источникам

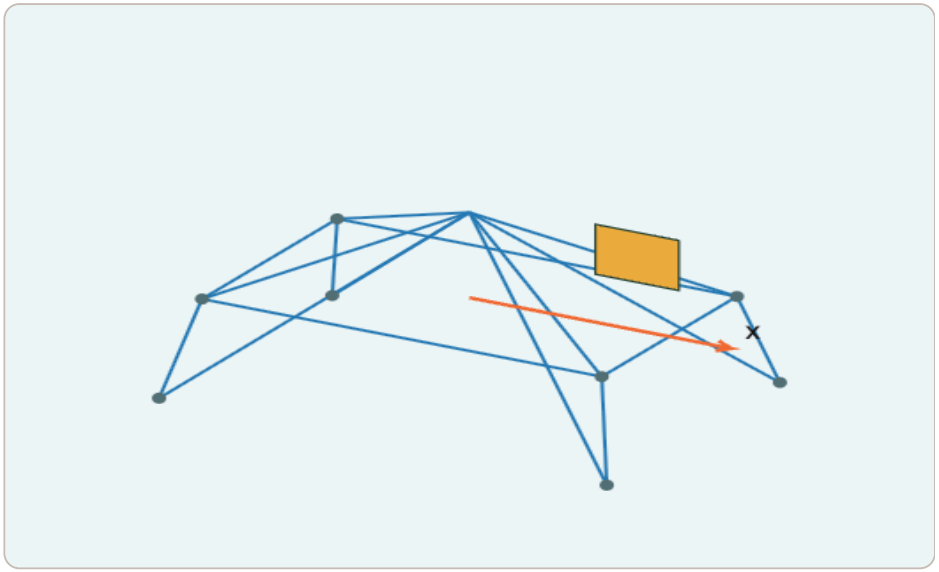
Лист 25

Подъёмный двигатель и RCS в 3D

Поверните условный разрез, проследите поток или подайте импульс и сравните оси поворота.



● Жидкая перекись ● Катализатор ● Пар и кислород



Выберите ось и подайте импульс.

Разрезы учебные, геометрия условная. Стрелки показывают условную пару сил, знак момента и ось поворота.

Нативный вид Bell · Нативный вид блока RCS

Лист 26

Стоимость перекиси и гелия

Полная заправка и восполнение после расчётного полёта в РФ, США и ЕС.

Полный цикл 43 с · в воздухе 31,74 с

Доля полной заправки H_2O_2, израсходованная за полёт 34,5%

Статья	Полная заправка	Пополнение после полёта
H_2O_2 90%	291,9 кг · Нет ставки	100,81 кг · Нет ставки
Гелий	4,312 норм. м³ · 22 695,61 ₽	Объём не измерен
Итого	**22 695,61 ₽ · известная часть**	—

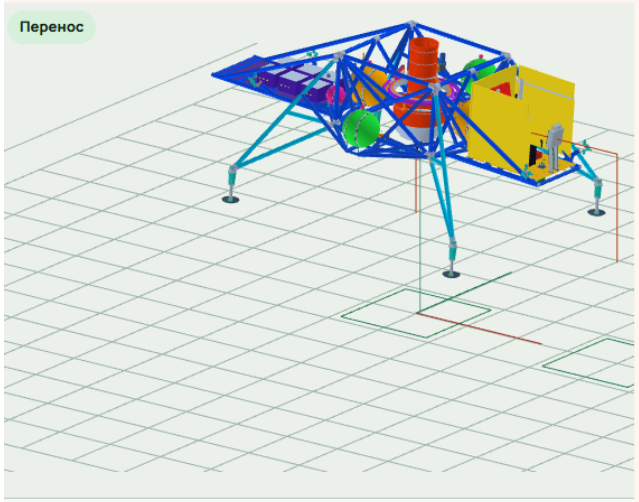
РФ · тариф за фасовку 40 л и справочный объём газа 5,7 м³.

Стоимость каждого вещества равна количеству, умноженному на цену за единицу. В стоимость не включены заправочные работы, тара и доставка. Нормальный кубометр здесь приведён к 0 °C и 101,325 кПа. **Данные и допущения**

Лист 27

Расход перекиси в 3D-полёте

Воспроизведите полёт или выберите этап. Схема и расход следуют за шкалой времени.



Этап	Интервал, с	Bell / RCS, с работы	H_2O_2, кг	РФ, ₽	США, $	ЕС, €
Пуск на опорах	0–3	2,91 / 2,74	7,75	3 873,49	77,47	92,96
Набор высоты	3–8	5 / 5	15,11	7 556,12	151,12	181,35
Зависание	8–11	3 / 3	8,58	4 288,17	85,76	102,92
Перенос	11–20	9 / 9	26,52	13 262,3	265,25	318,3
Зависание над целью	20–23	3 / 3	8,77	4 382,95	87,66	105,19
Снижение	23–31	8 / 8	22,06	11 030,9	220,62	264,74
Выравнивание	31–34,56	3,56 / 3,56	9,44	4 719,49	94,39	113,27
Посадка и стабилизация	34,56–40,94	2,54 / 2,55	2,58	1 289,89	25,8	30,96
Останов на опорах	40,94–43	0 / 0	0	0	0	0
Всего за запись			**100,81**	**50 403,3**	**1 008,07**	**1 209,68**

Базовый сценарий. Ставки в примере условные: 500 ₽/кг, 10 $/кг и 12 €/кг.

Секунды работы отсчитаны по расчётной суммарной тяге каждой группы выше 1 Н. Bell и RCS могут работать одновременно. В записи масса H_2O_2 общая для обеих групп. Расход на этапе равен убыли массы раствора в баках. Стоимость равна расходу, умноженному на ставку рынка. Гелий рассчитывается отдельно на листе 26.

Для этапов используются метки расчётной записи. Схема показывает состояние ветвей по тяге. Значения давления на листе 24 взяты из исторических источников.

Проверка и исходные данные