

Механические системы РН

Математические методы анализа и проектирования космических систем

Кафедра теоретической механики

Юдинцев В. В.

31 августа 2025 г.



САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
SAMARA UNIVERSITY

- 1 Терминология
- 2 Система отделения ДУ САС
- 3 Отделение боковых блоков
- 4 Отделение ГО
- 5 Разделение II и III ступеней
- 6 Отделение полезного груза

Вопросы

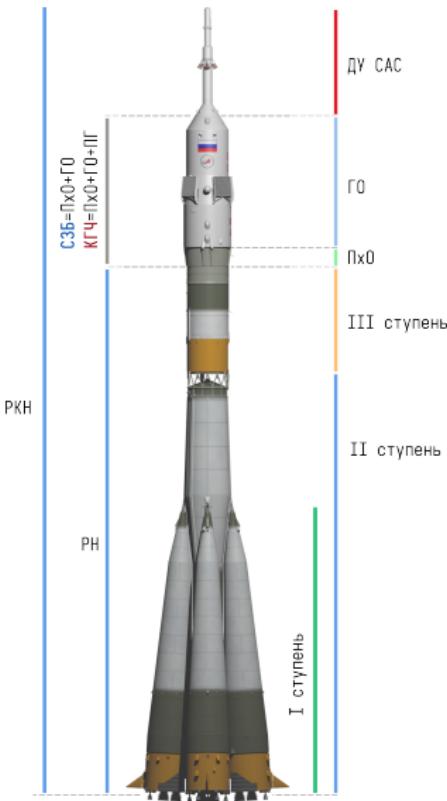
В курсе рассматриваются задачи анализа и синтеза механических систем ракетно-космической техники (РКТ)

- Разработка математических и компьютерных моделей механических систем РКТ
- Определение рациональных или оптимальных параметров системы для обеспечения заданных требований к её функционированию.

Циклограмма выводения РН „Союз“ с ТПК

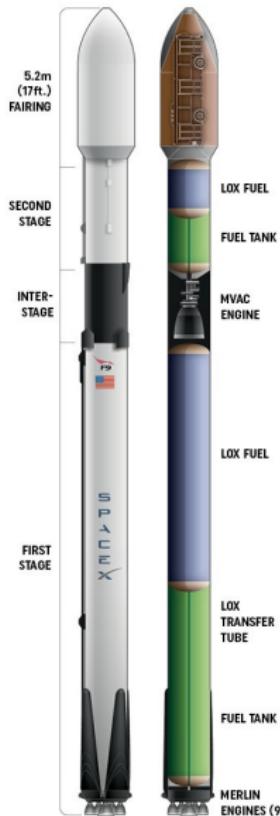


Терминология



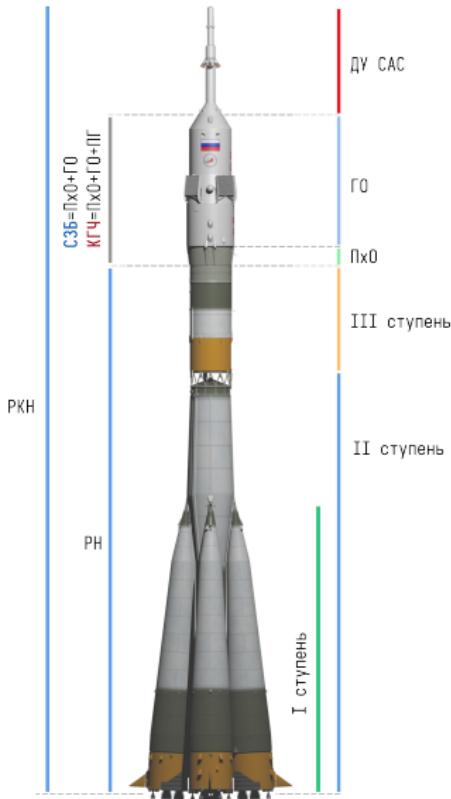
- **Ракета космического назначения (РКН)** – совокупность ракеты-носителя с космической головной частью.
- **Ракета-носитель (РН)** – часть РКН, предназначенная для выводения орбитального модуля или полезного груза на заданную траекторию или орбиту.
- **Космическая головная часть (КГЧ)** – совокупность полезного груза, головного обтекателя с переходным отсеком и разгонного блока.

Ступень и ракетный блок



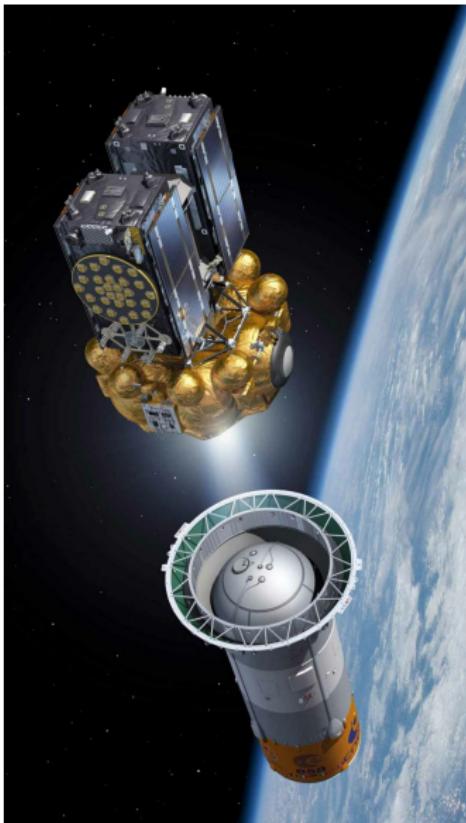
- **Ступень РН** – отделяемая часть РН, состоящая из одного или нескольких ракетных блоков и обеспечивающая полет ракеты космического назначения или ракеты-носителя на определенных участках траектории.
- **Ракетный блок РН** – часть ступени РН, включающая корпус, двигательную установку, элементы систем управления, разделения, измерения.

Полезный груз



- **Полезный груз** космического средства (ПГ КСр) – совокупность размещаемых в ракете устройств, выводимых на заданную траекторию или орбиту.
- **Космическое средство (КСр)** – техническое средство, включающее в себя орбитальные средства и средства выводения, предназначенное для функционирования в космическом пространстве и решения или обеспечения решения задач освоения и использования космического пространства.

Разгонный блок



- **Разгонный блок РКН (РБ РКН)** – часть РКН, предназначенная для доставки одного или нескольких космических аппаратов на орбиты или траектории назначения после отделения от РН.

Система отделения ДУ САС

Система аварийного спасения

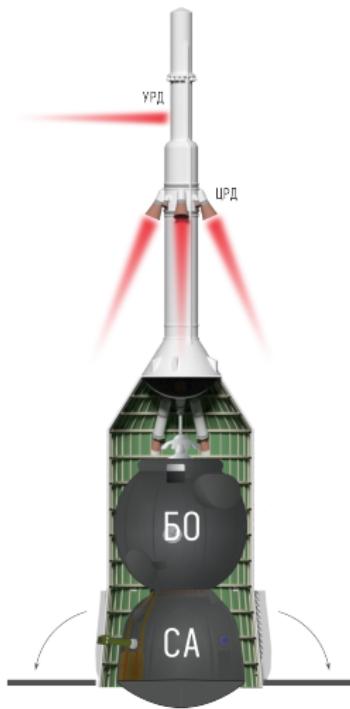


Система аварийного спасения экипажа РН «Союз» – комплекс технических средств, установленных на ракете-носителе «Союз», предназначенный для спасения членов экипажа в случае аварийной ситуации ракеты-носителя на любом участке полёта.

КГЧ с ТПК Союз МС

КГЧ РКН для выведения пилотируемого транспортного корабля типа Союз МС.





- 1 СА и БО фиксируется внутри головного обтекателя
- 2 Разделяется стык СА с ПАО
- 3 Разделяется "аварийный" поперечный стык ГО
- 4 Раскрываются решетчатые стабилизаторы
- 5 Запускаются ЦРД и УРД
- 6 СА уводится от аварийной РН



- 1 В апогее траектории спускаемый аппарат отделяется от БО
- 2 РДР уводят ГО с БО и ДУ САС от спускаемого аппарата
- 3 Раскрывается парашют СА и выполняется мягкая посадка

Работа САС при аварии до отделения блока ДУ САС

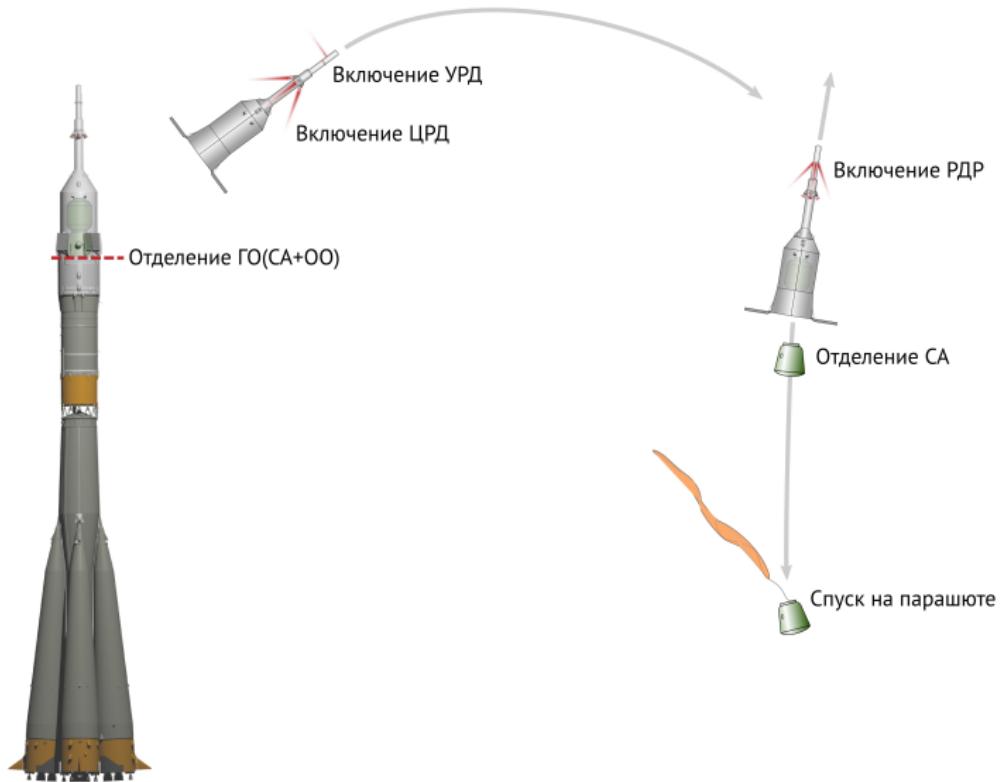
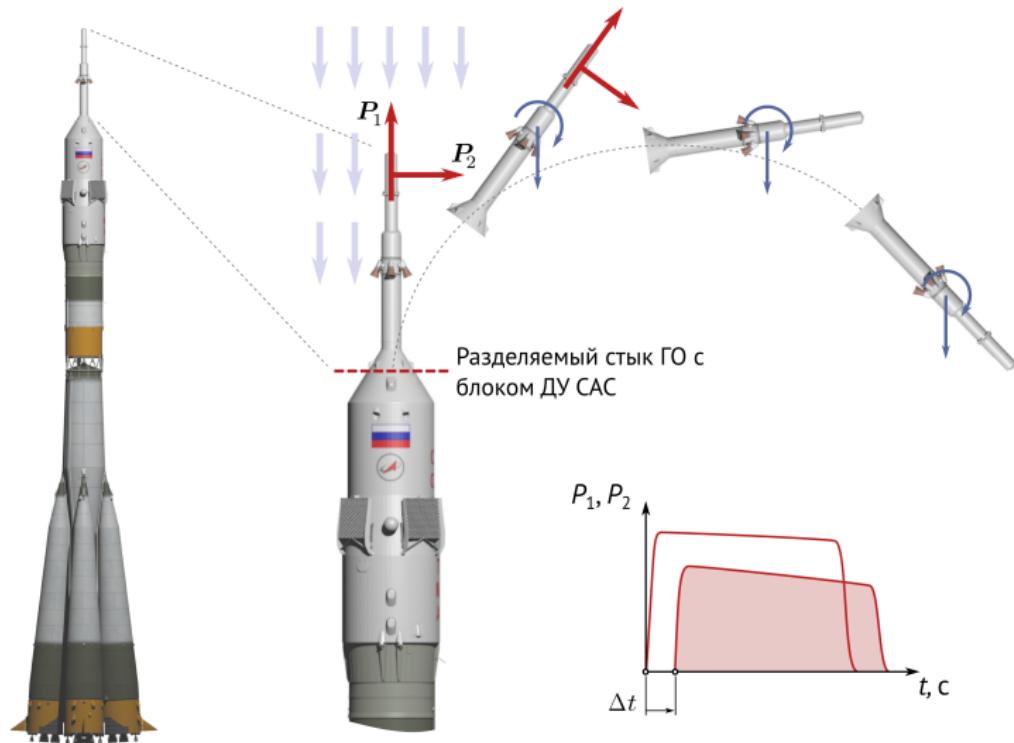


Схема отделения блока ДУ САС



Синтез системы отделения ДУ САС

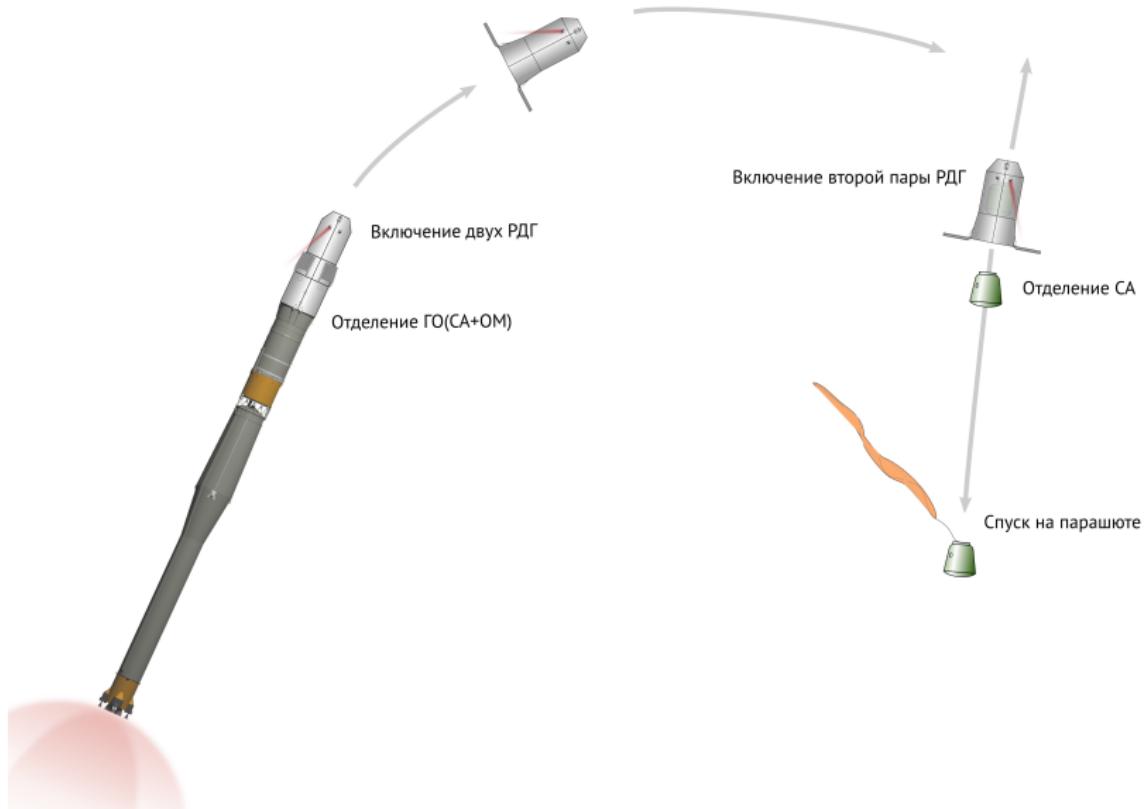
Требования

- Безударность отделения ДУ САС для всех возможных траекторий выведения РН.
- Допустимые области падения.

Параметры

- Параметры РДТТ.
- Циклограмма работы системы отделения.

Работа САС при аварии до отделения ГО



КК Союз-18-1: 5 апреля 1975 г



- Экипаж: Василий Лазарев, Олег Макаров.
- Не произошло разделение II и III ступеней, началась “раскачка” РКН, сработала САС.
- ТПК по суборбитальной траектории (максимальная высота 192 км) вернулся на Землю, при этом космонавты испытали перегрузки до 21,3 г.

Союз Т-10-1: 26 сентября 1983



- Экипаж: Владимир Титов, Геннадий Стрекалов
- Пожар РН на старте за 48 секунд до старта (выход из строя клапана, перегрев и возгорание одного из агрегатов в системе подачи топлива в газогенераторы турбонасосных агрегатов)
- Спускаемый аппарат отделился от ГБ на высоте 1 км и приземлился на расстоянии 3,7 км от старта через 5 минут 13 секунд.
- Команду на активацию САС выдали с командного пункта начальник 1 управления космодрома Алексей Шумилин и главный инженер куйбышевского ЦСКБ Александр Солдатенков.

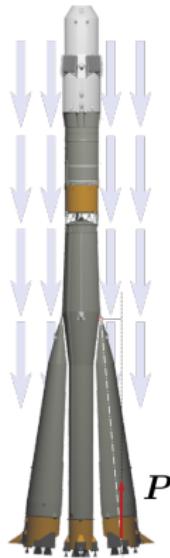
Союз МС-10: 11 октября 2018



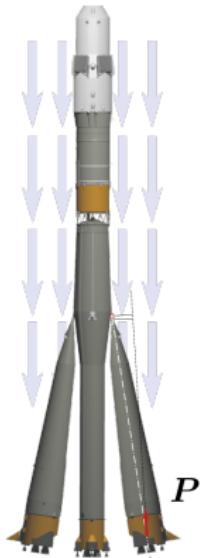
- Экипаж: Алексей Овчинин, Тайлер Хейг
- Отказа датчика выхода бокового блока Д из шарнирного упора на корпусе центрального блока.
- Не произошла подача сигнала на открытие крышки реактивного сопла на баке окислителя бокового блока.
- Носовая часть бокового блока Д не отошла от центрального блока, а продолжила скольжение, повредив бак центрального блока.

Отделение боковых блоков

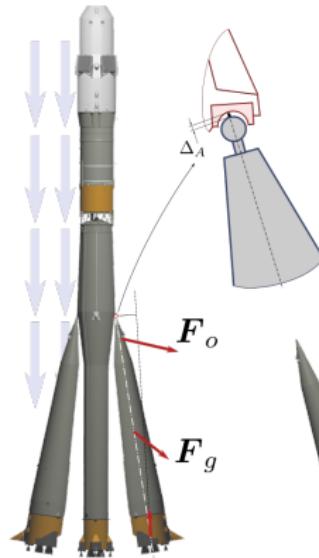
Схема отделения боковых блоков



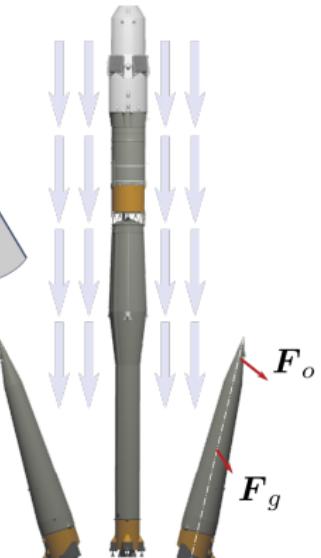
Разрыв
нижних
силовых
связей



Выключение
двигателей
ББ

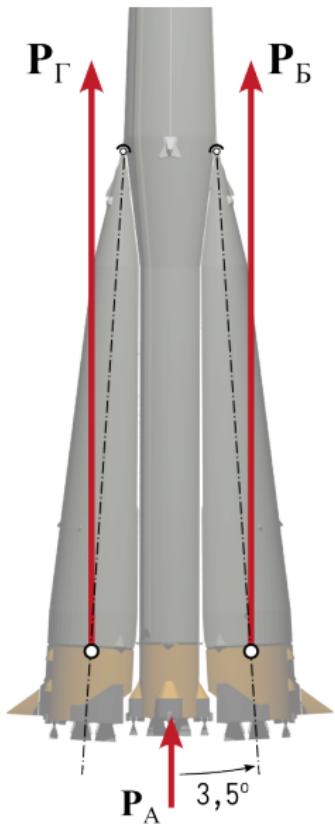


Открытие РС
баков горючего
и окислителя



Разворот ББ

Схема отделения боковых блоков



Верхний узел связи

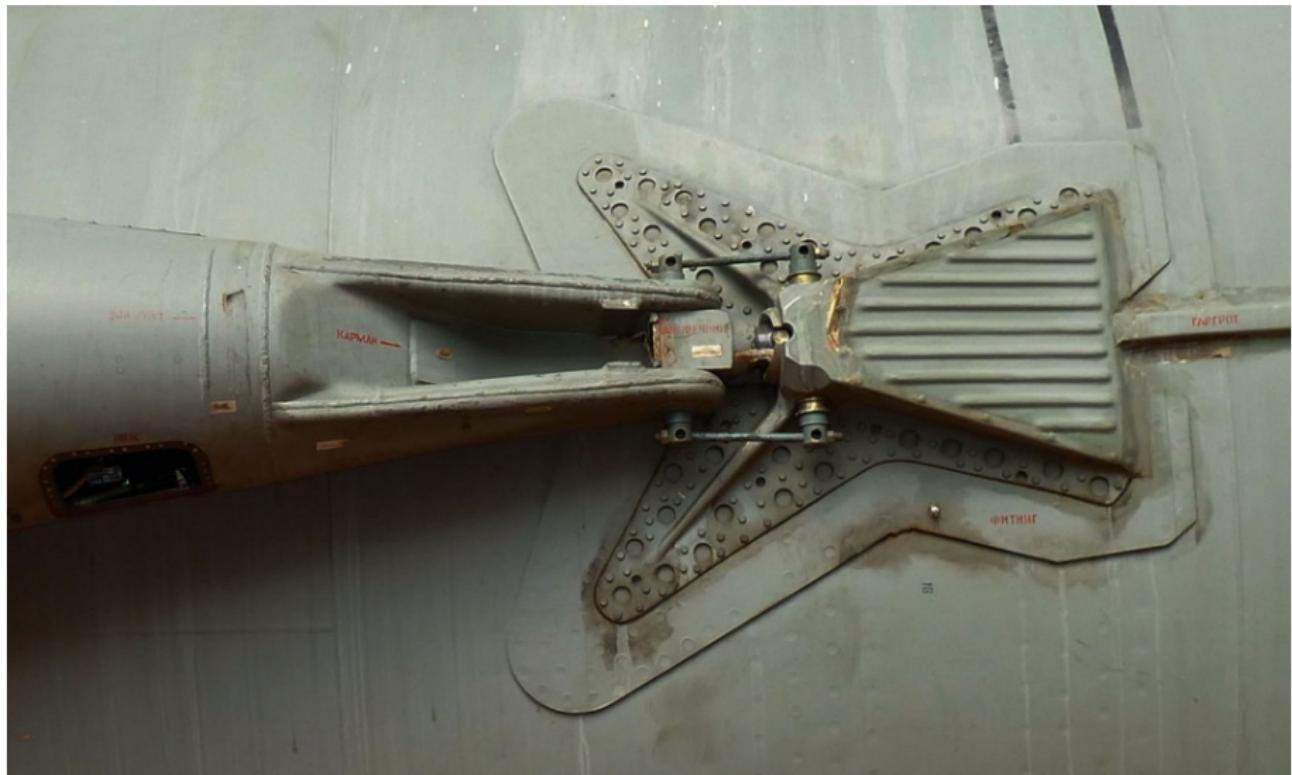
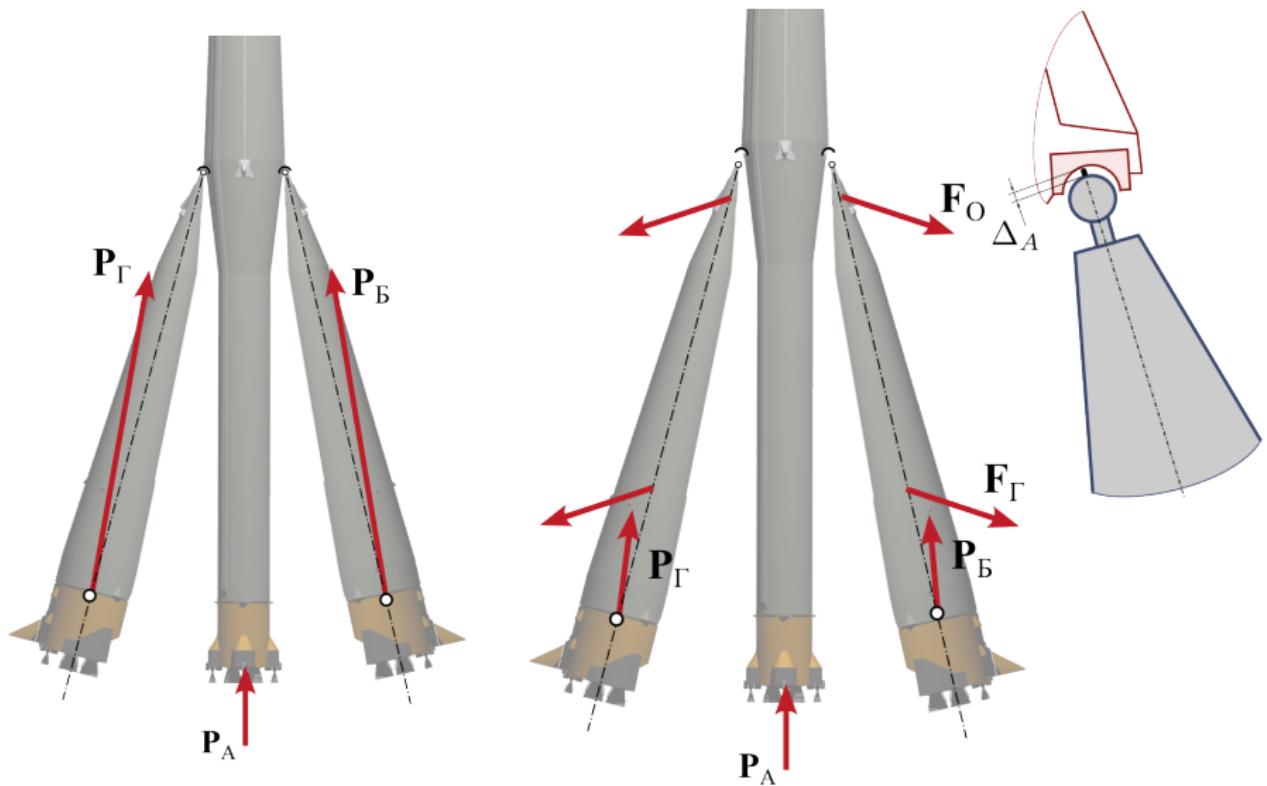


Схема отделения боковых блоков



Датчик отделения



Синтез процесса отделения боковых блоков

Требования

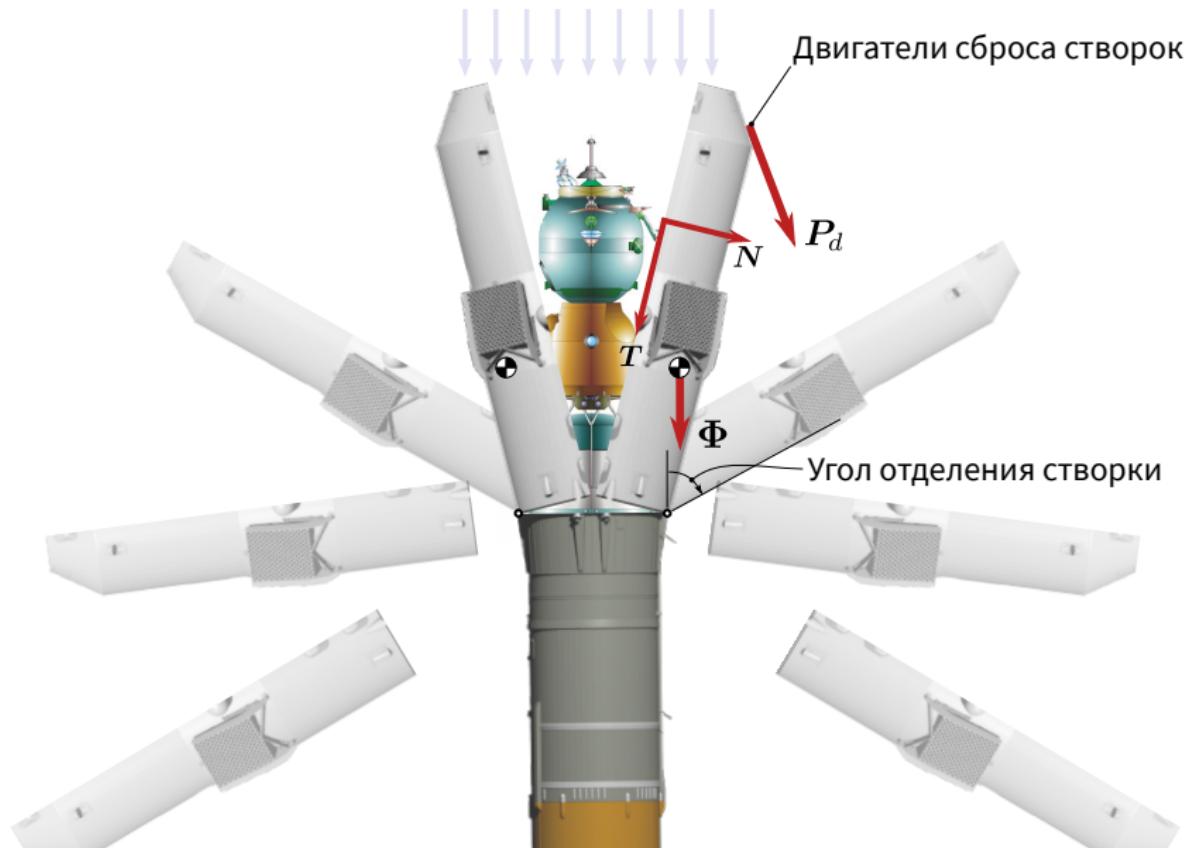
- Безударность отделения боковых блоков.
- Минимальные возмущения движения РН.

Параметры

- Циклограмма процесса отделения.
- Силы РС бака горючего и окислителя.

Отделение ГО

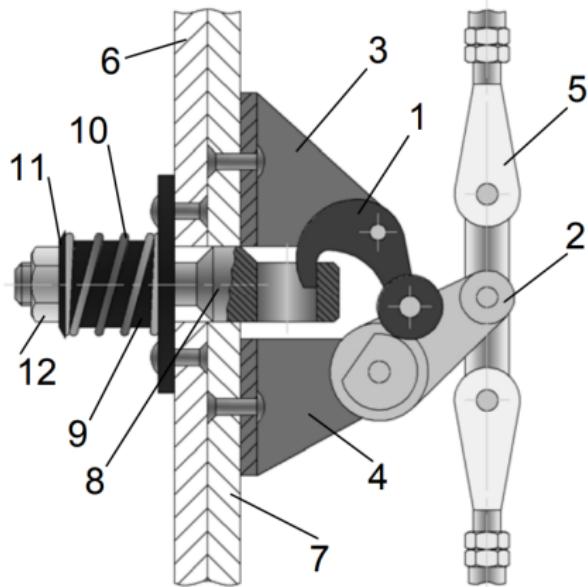
Разворот створок при помощи РДТТ



Использование толкателей



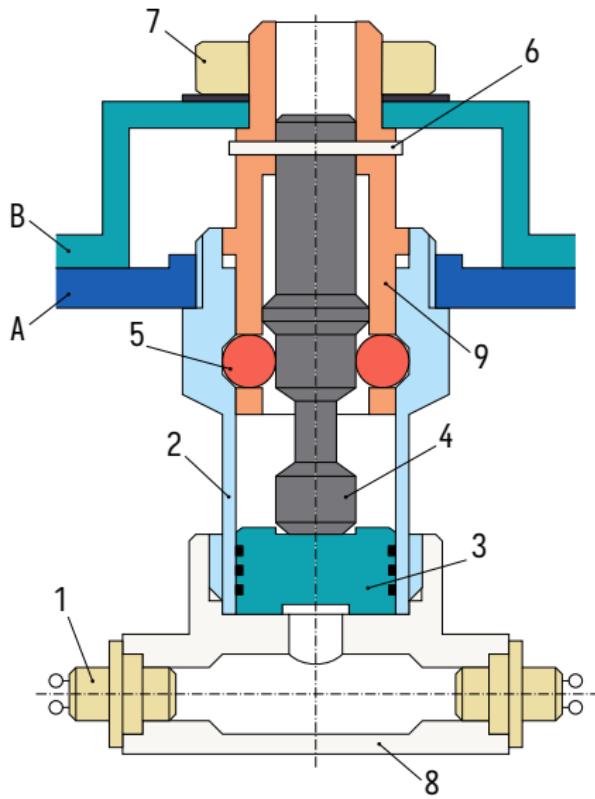
Рычажные замки



- 1** рычаг
 - 2** рычаг
 - 3** кронштейн
 - 4** кронштейн
 - 5** регулируемая тяга
 - 6** стрингер продольного стыка
 - 7** стрингер продольного стыка
 - 8** стержень замка
 - 9** стакан замка
 - 10** пружина
 - 11** гайка
 - 12** шайба

Методика. 3

Пирозамок



- 1** пиропатрон
 - 2** корпус
 - 3** поршень
 - 4** шток
 - 5** шарик
 - 6** чека
 - 7** гайка
 - 8** казённик
 - 9** гильза

Требования

- Безударность отделения створок (КА, РН) для всех возможных траекторий выведения РН.
- Минимальные возмущения движения РН.

Параметры

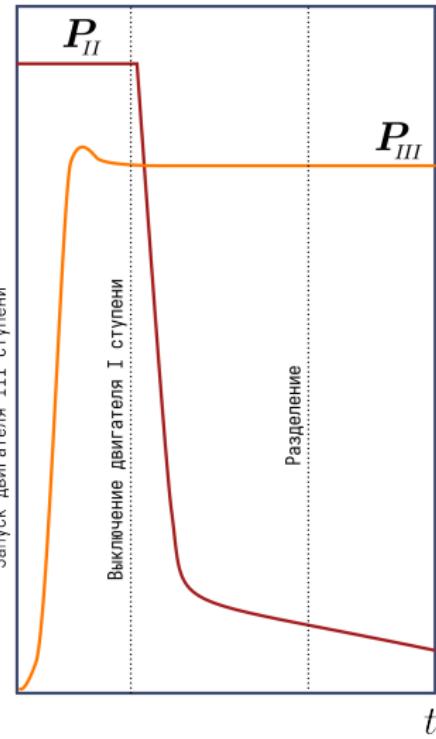
- Работа толкателя.
- Начальное усилие толкателя.
- Ход толкателя.
- Угол отделения створок.

Разделение II и III ступеней

«Горячее» разделение



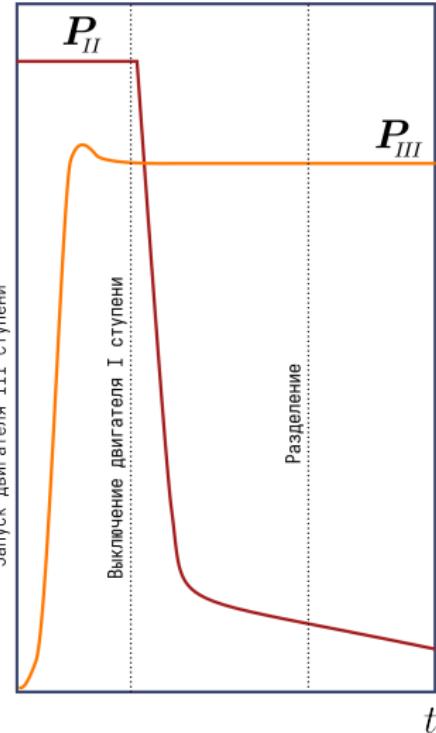
- При «горячем» разделении двигатель III ступени запускается до момента разделения;
- Двигатель II ступени выключается после запуска двигателя III ступени;
- Разделение ступеней производится после выходя тяги III ступени на заданный режим.



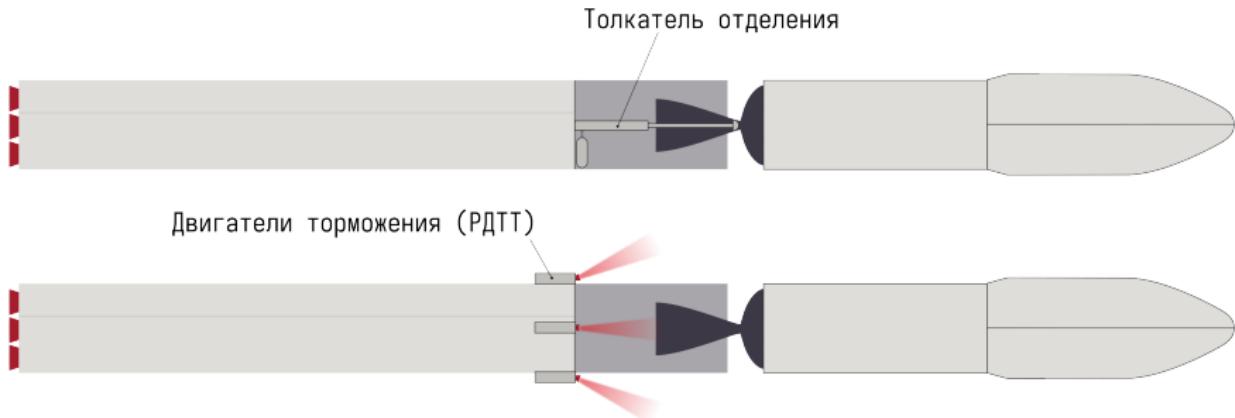
«Горячее» разделение



- При «горячем» разделении двигатель III ступени запускается до момента разделения;
- Двигатель II ступени выключается после запуска двигателя III ступени;
- Разделение ступеней производится после выхода тяги III ступени на заданный режим.

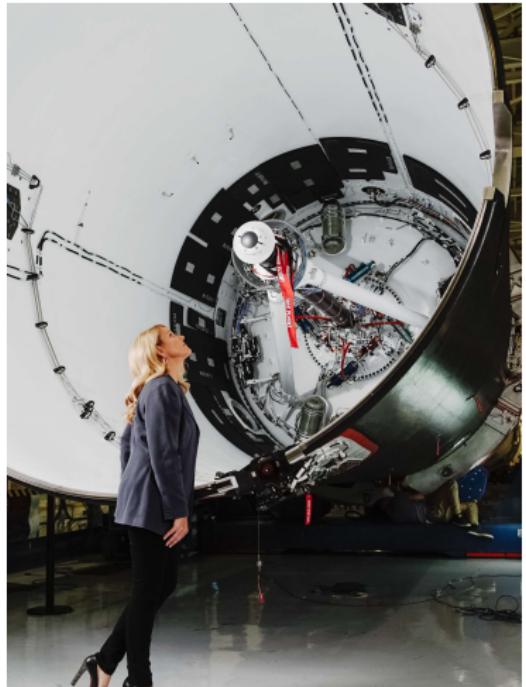


«Холодное» разделение



- При «холодном» разделении двигатель следующей ступени запускается после разделения ступеней
- Для сообщения относительной скорости ступеням используется толкатели, двигатели торможения

Толкатель отделения PH Falcon 9



Горячее и холодное разделение

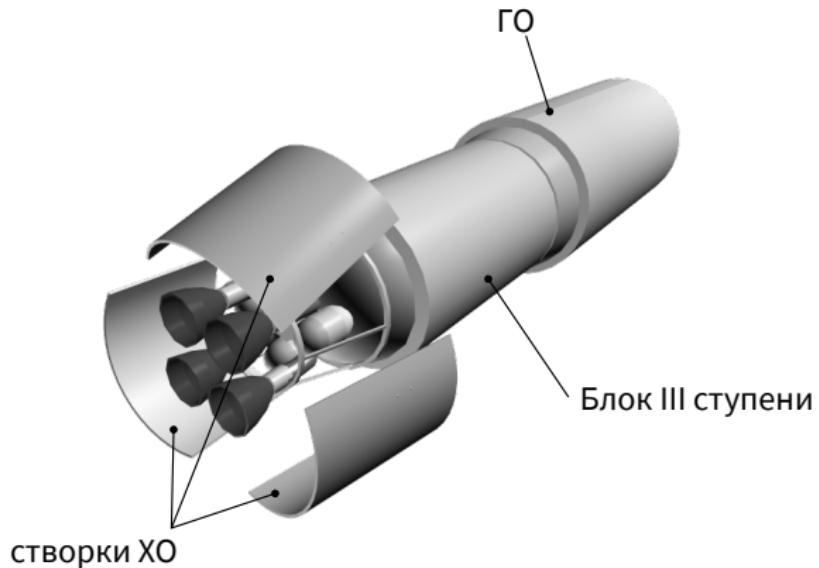
Требования

- Безударность отделения.
- Минимальные возмущения движения III ступени.
- Минимальное воздействие на II ступень.
- Минимальные потери скорости.

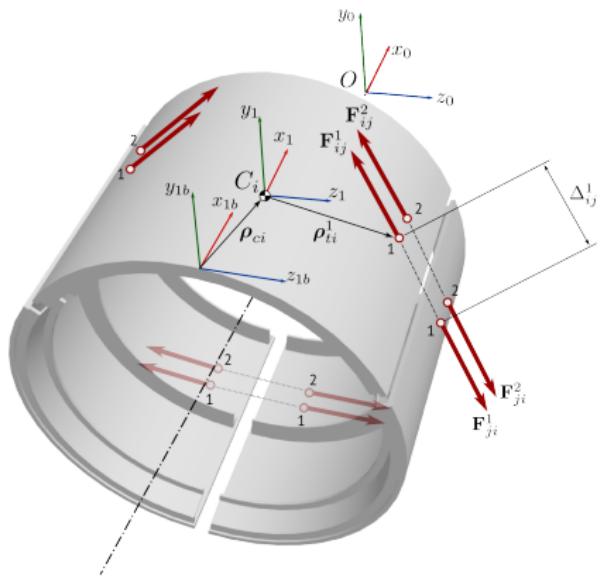
Параметры

- Построение циклограммы отделения.
- Выбор средств отделения (толкателей, РДТТ) для холодного разделения.

Отделение створок хвостового отсека III ступени

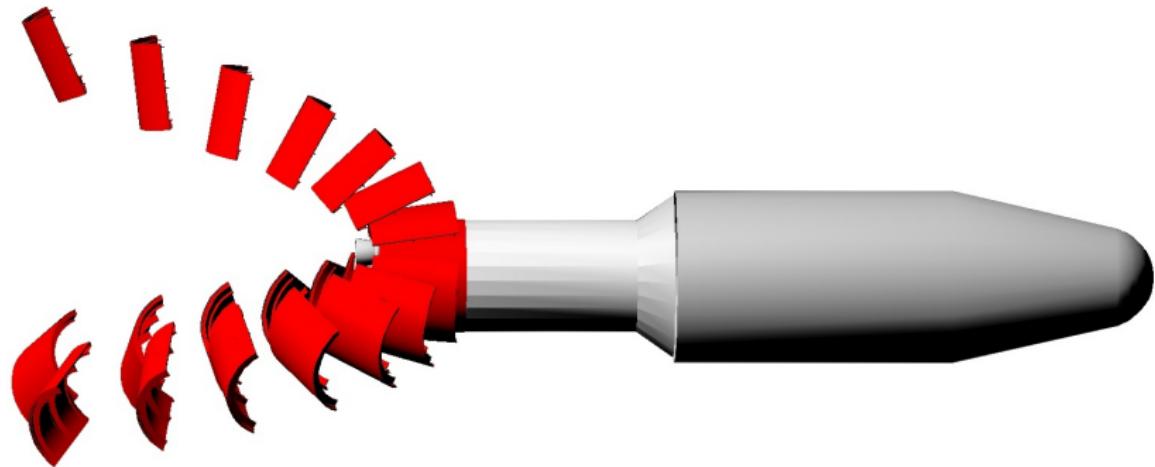


Силы, действующие на створку



- Силы толкателей поперечного стыка
- Силы толкателей продольных стыков
- Газодинамическая сила двигателя
- Аэродинамические силы

Отделение створок хвостового отсека III ступени



Синтез процесса отделения створок ХО

Требования

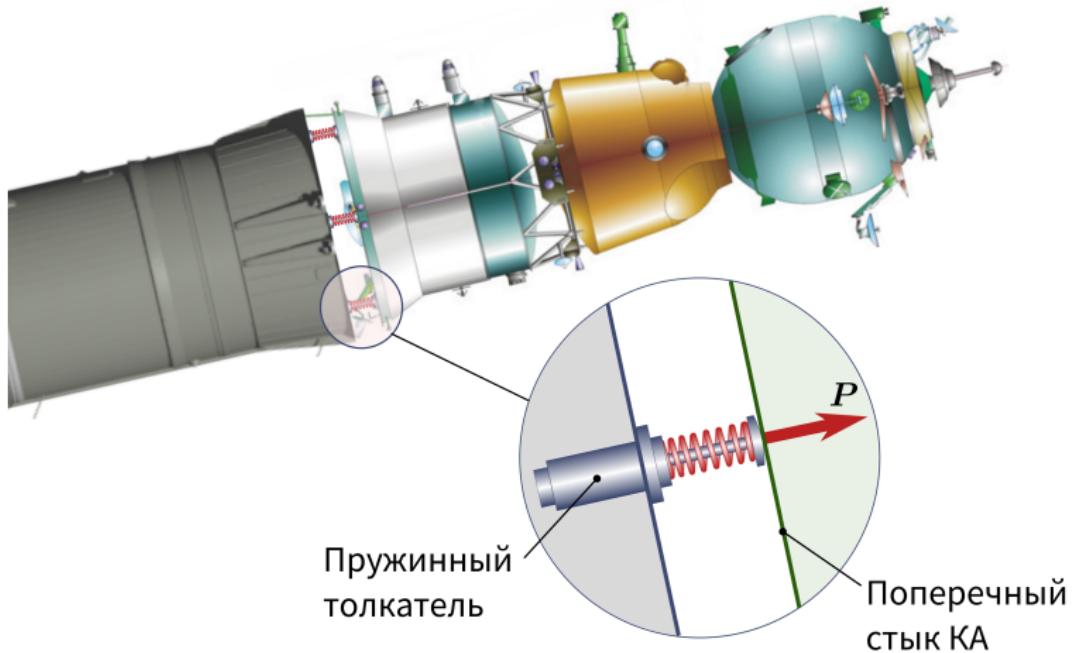
- Безударность отделения.
- Минимальные возмущения на движение III ступени.

Параметры

- Выбор параметров толкателей.
- Выбор мест установки толкателей.

Отделение полезного груза

Отделение полезного груза



Синтез процесса отделения КА

Требования

- Безударность отделения.
- Заданная скорость отделения КА.
- Минимальные возмущения угловой скорости КА.
- Минимальные возмущения угловой скорости носителя.

Параметры

- Выбор параметров толкателей.
- Выбор мест установки толкателей.
- Выбор направления отделения КА.

Список использованных источников

- [1] Круглов Г. Е. Аналитическое проектирование механических систем. – Самара : Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С. П. Королева, 2001. – Р. 131.
- [2] Расчет и проектирование систем разделения ступеней ракет / Колесников К. С., Кокушкин В. В., Борзых С. В., and Панкова Н. В. – Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – Р. 373.
- [3] Кондратьев А. В., Чумак А. А., Стэнилэ К. Д. Сравнение систем крепления и отделения современных композитных головных обтекателей ракет-носителей // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – 2012. – №. 4. – Р. 165–177.