

Московский Государственный Технический
Университет имени Н.Э. Баумана
Факультет «Специальное машиностроение»
Кафедра СМ-1 «Космические аппараты и ракеты-
носители»



Ракета носитель сверхлёгкого класса на твёрдом топливе (первая ступень)

Выполнил:

Лесной Станислав Тимофеевич, группа СМ1-81Б

Научный руководитель:

Соболев Иван Анатольевич, к.т.н., доцент

Что такое СЛК и зачем он нужен

Сверхлёгкий класс : 0-500 кг на НОО

Преимущества СЛК :

- Оперативность вывода ПН
- Возможность мобильного старта и простота транспортировки

Недостатки:

- Большая стоимость вывода 1 кг ПН на орбиту по сравнению с более тяжёлыми РН

Формирование технического задания

Цель работы:

Спроектировать ракету-носитель (РН) для выведения КА массой $M_{КА} = 250$ кг на целевую орбиту с параметрами: $H_{\alpha} = 500$ км, $H_{пт} = 500$ км, $i = 97,4$ град. В состав РН должны входить две ступени на основе РДТТ и разгонный блок (РБ) на основе ЖРД

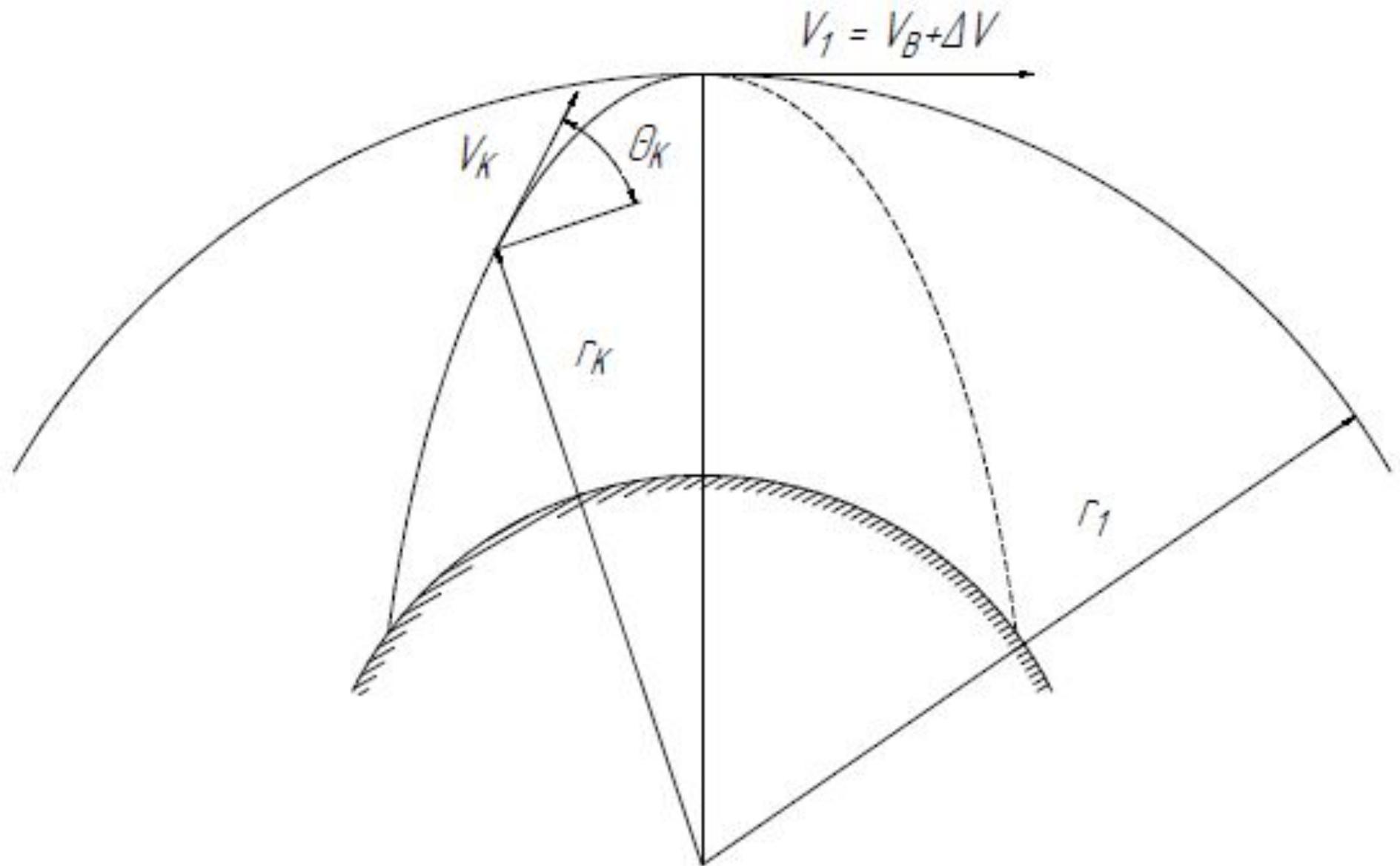
Задачи работы:

1. Разработать схему выведения ПН на орбиту с заданными параметрами;
2. Вычислить предварительные объемно-габаритные характеристики первой ступени РН и разработать её компоновочную схему.
3. Получить примерную массу первой ступени РН.
4. Провести расчёт на устойчивость переходного отсека.

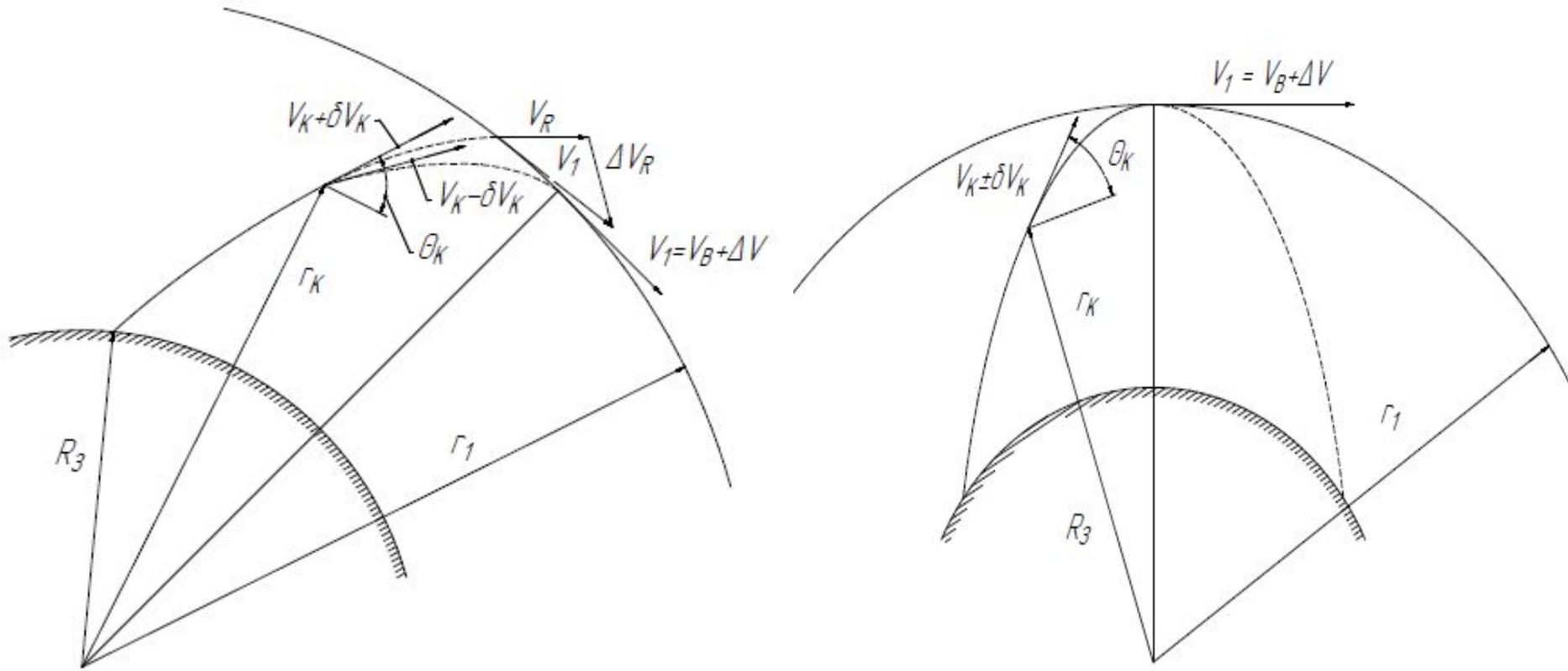
Анализ аналогов

Наименование РН	Страна	Число степеней	топливо	Стартовая масса	Масса ПН на НОО	Примечание
SS-520	Япония	3	ТРТ на основе НТРВ	2.6 т	4 кг	Проект заморожен
Vikram I	Индия	3	ТРТ	-	315 кг	ПН выводится на высоту 500 км. РН находится ещё в разработке, планируется как самая дешёвая ракета на рынке. Её предстартовая подготовка должна будет занимать менее суток
Электрон	США	2	Керосин + O ₂	12.55 т	250 кг	На данный момент одна из самых перспективных СЛК на рынке
Vector-R	США	2/3	Пропилен + O ₂	5 т	60 кг	Мобильная платформа старта
Blue whale	Корея	2	Метан + O ₂	1.79 т	63 кг	Простая в транспортировке
Black arrow	ВБ	3	Керосин + H ₂ O ₂ (конц.)	18 т	135 кг	Последняя ступень на ТРТ

Схема выведения



Способы компенсации разброса параметров РДТТ



Баллистический анализ

Активный участок

траектории

$$\begin{cases} m \frac{dV}{dt} = P \cos \alpha - X_{\text{аэп}} - mg \sin \theta \\ mV \frac{d\theta}{dt} = P \sin \alpha + Y_{\text{аэп}} - mg \cos \theta + \frac{mV^2 \cos \theta}{r} \\ \frac{dh}{dt} = V \sin \theta \\ \frac{d\eta}{dt} = \frac{V}{r} \cos \theta \end{cases}$$

$$\theta = \varphi_{\text{пр}} + \eta - \alpha$$

$$\varphi_{\text{пр}} = \begin{cases} \pi/2 & 0.95 \leq \mu_1 \leq 1 \\ 6.25(\pi/2 - \varphi_k)(0.45 - \mu_1)^2 + \varphi_k & 0.45 < \mu_1 < 0.95 \\ \varphi_k & \mu_1 \leq 0.45 \end{cases}$$

Пассивный участок

траектории

$$\begin{cases} \frac{d^2 r}{dt^2} - r \left(\frac{d\eta}{dt} \right)^2 = -\frac{g_0 R^2}{r^2} \\ \frac{d}{dt} \left(r^2 \frac{d\eta}{dt} \right) = 0 \end{cases}$$

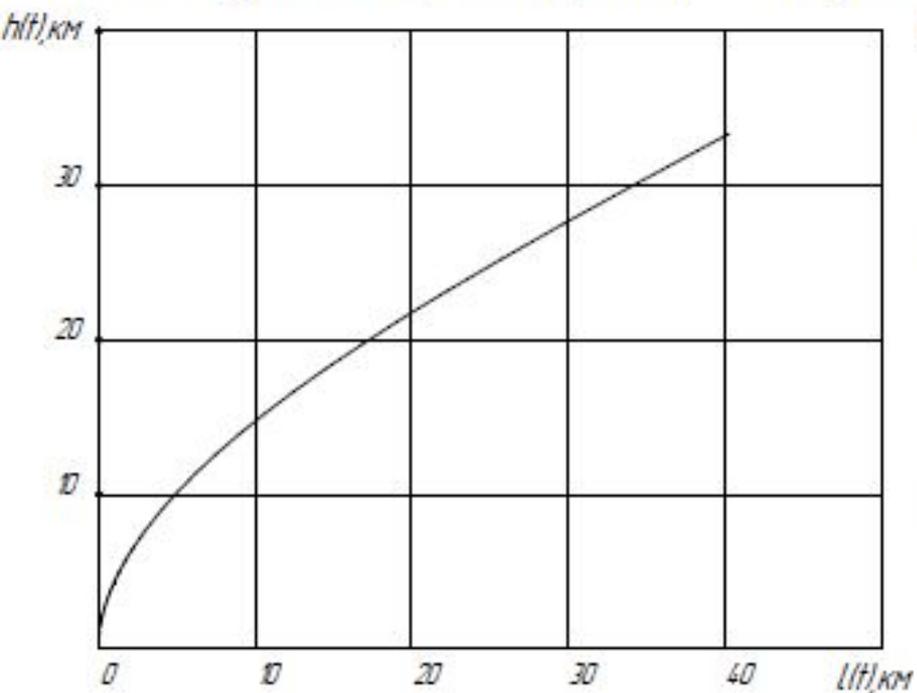
$$r = \frac{p}{1 - e \cos(\eta - \eta_k)}$$

$$p = rv \cos^2 \theta = r_k v_k \cos^2 \theta_k$$

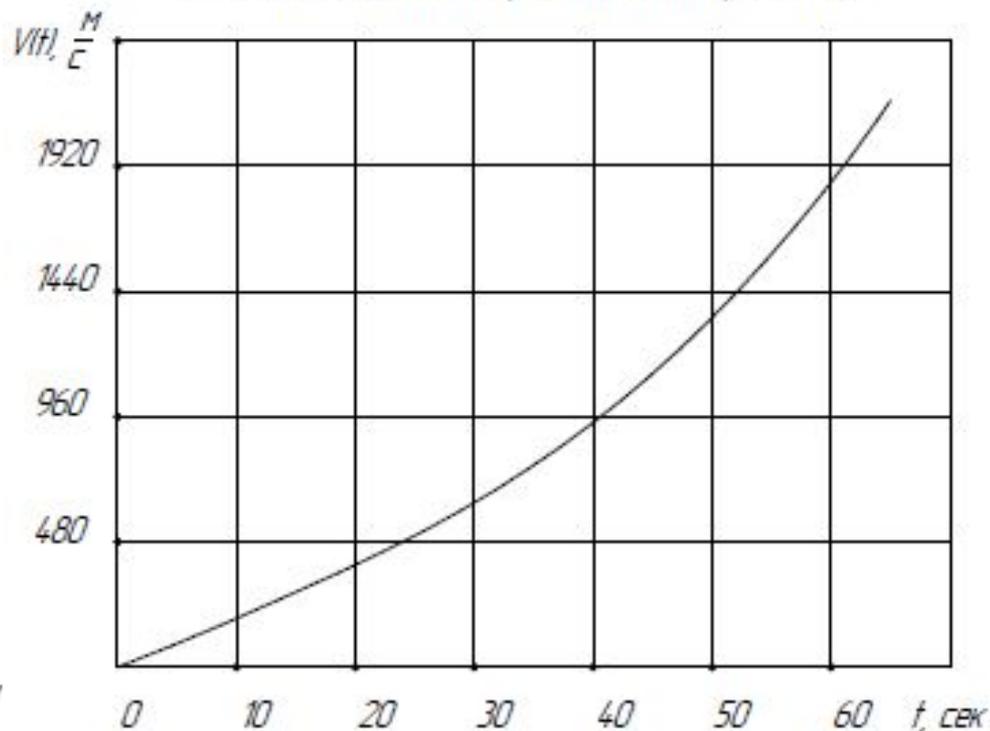
$$e = \sqrt{(1 - v)^2 \cos^2 \theta + \sin^2 \theta} = \sqrt{(1 - v_k)^2 \cos^2 \theta_k + \sin^2 \theta_k}$$

Результаты баллистического анализа

Активный участок траектории первой ступень

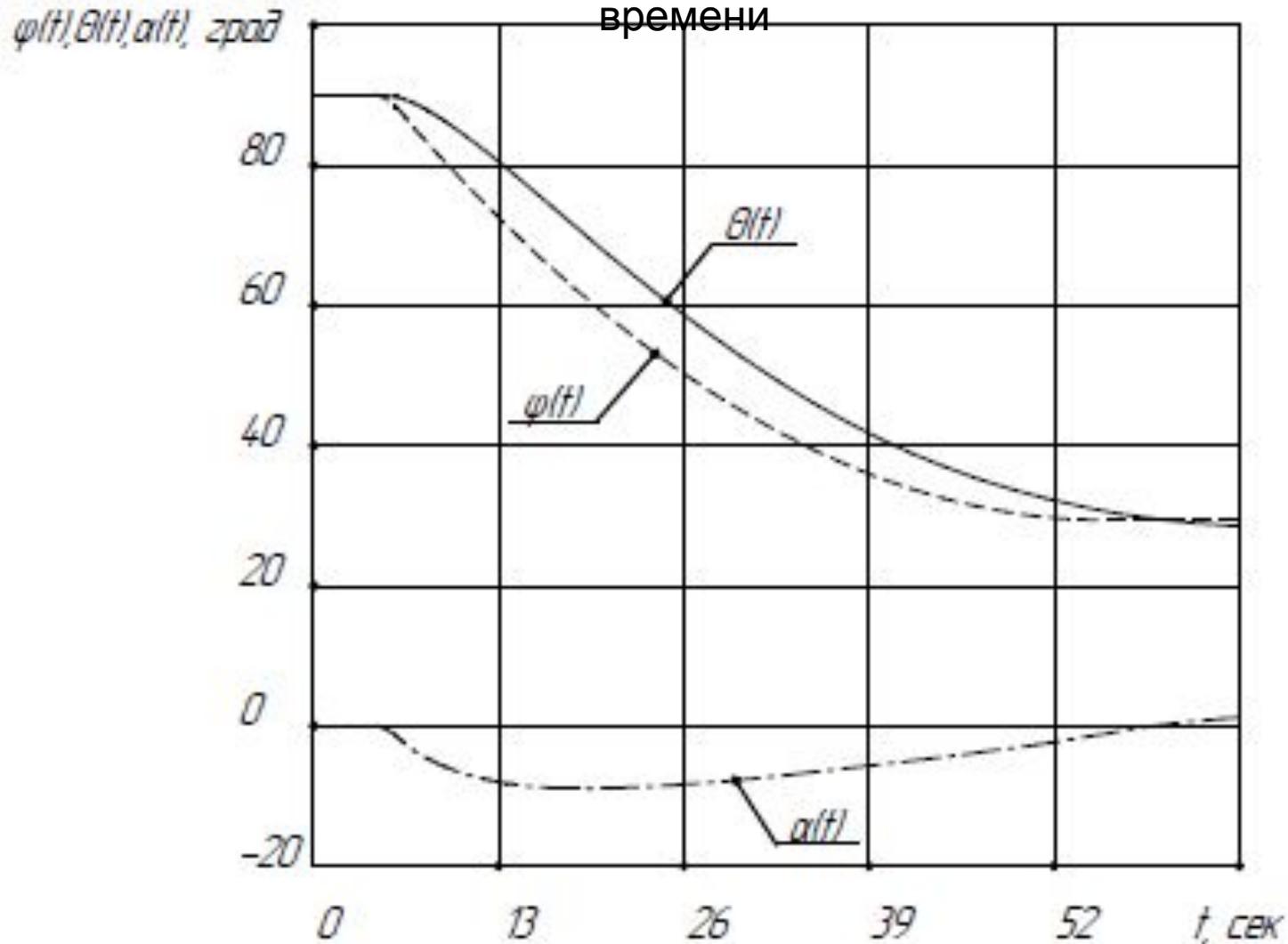


Зависимость скорости от времени

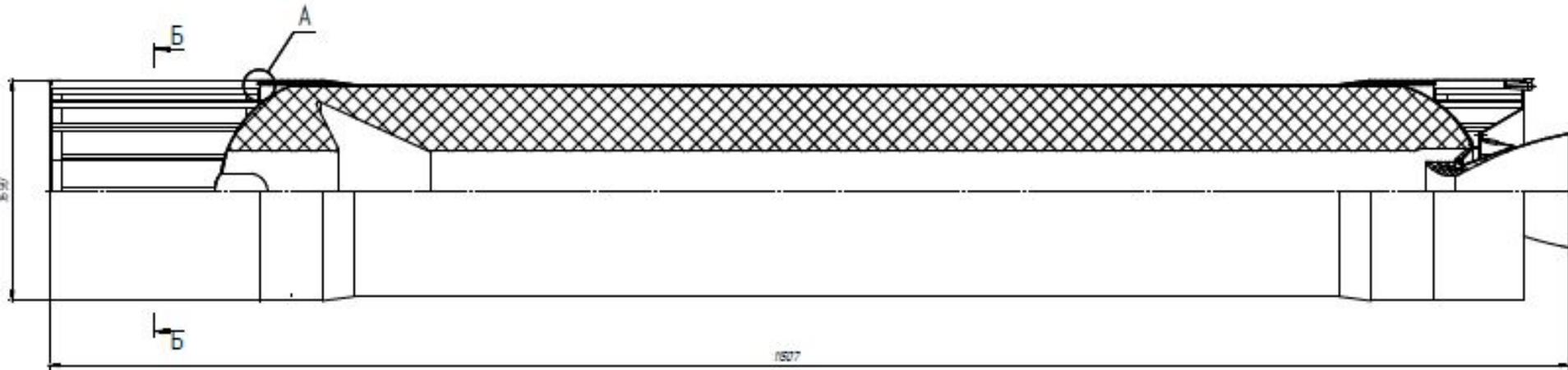


Результаты баллистического анализа

Зависимость углов атаки, тангажа и наклона скорости к местному горизонту от времени



Общий вид РКН

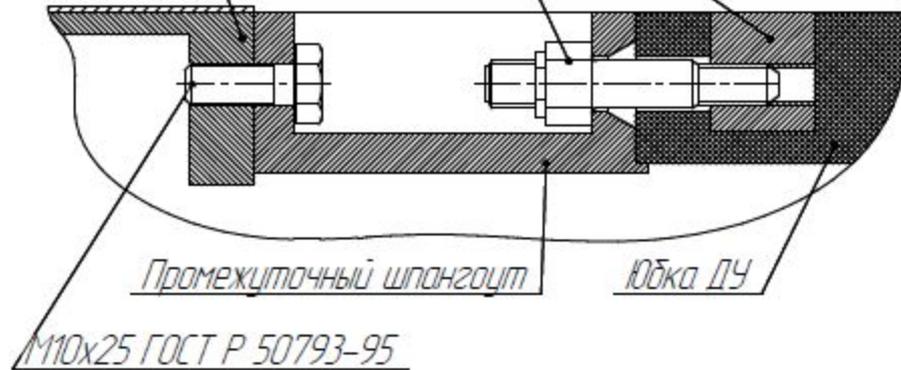


А- способ крепления переходного отсека и юбки ДУ

Стыковочный шпангоут

Пироболт

Металлический штифт



Б-Б устройство продольного деления ПХО

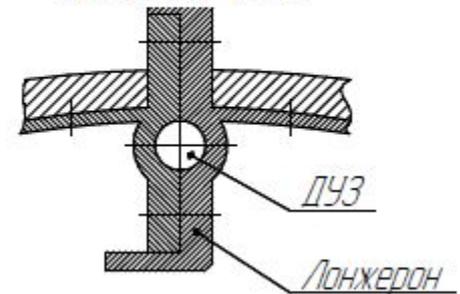
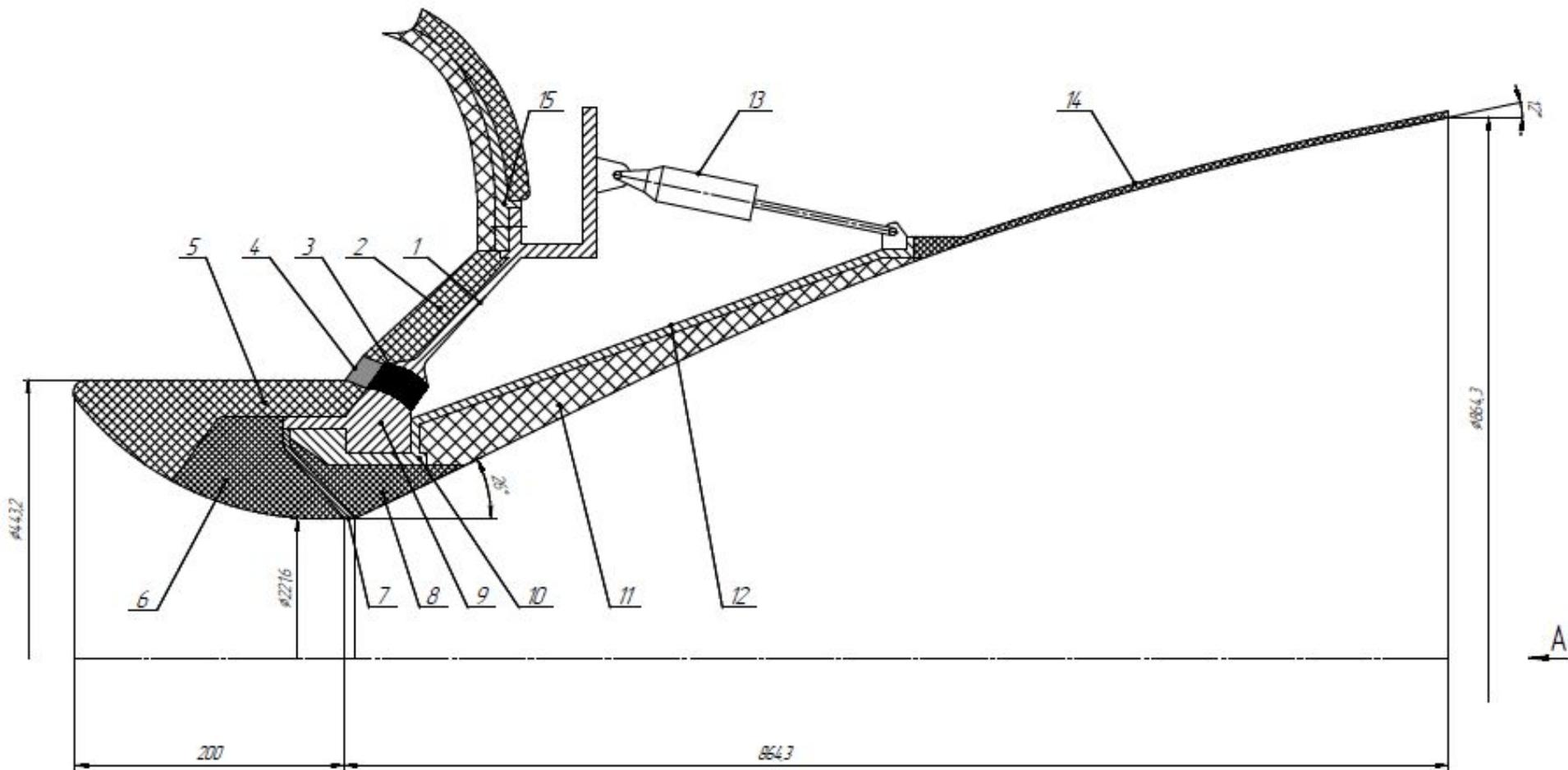
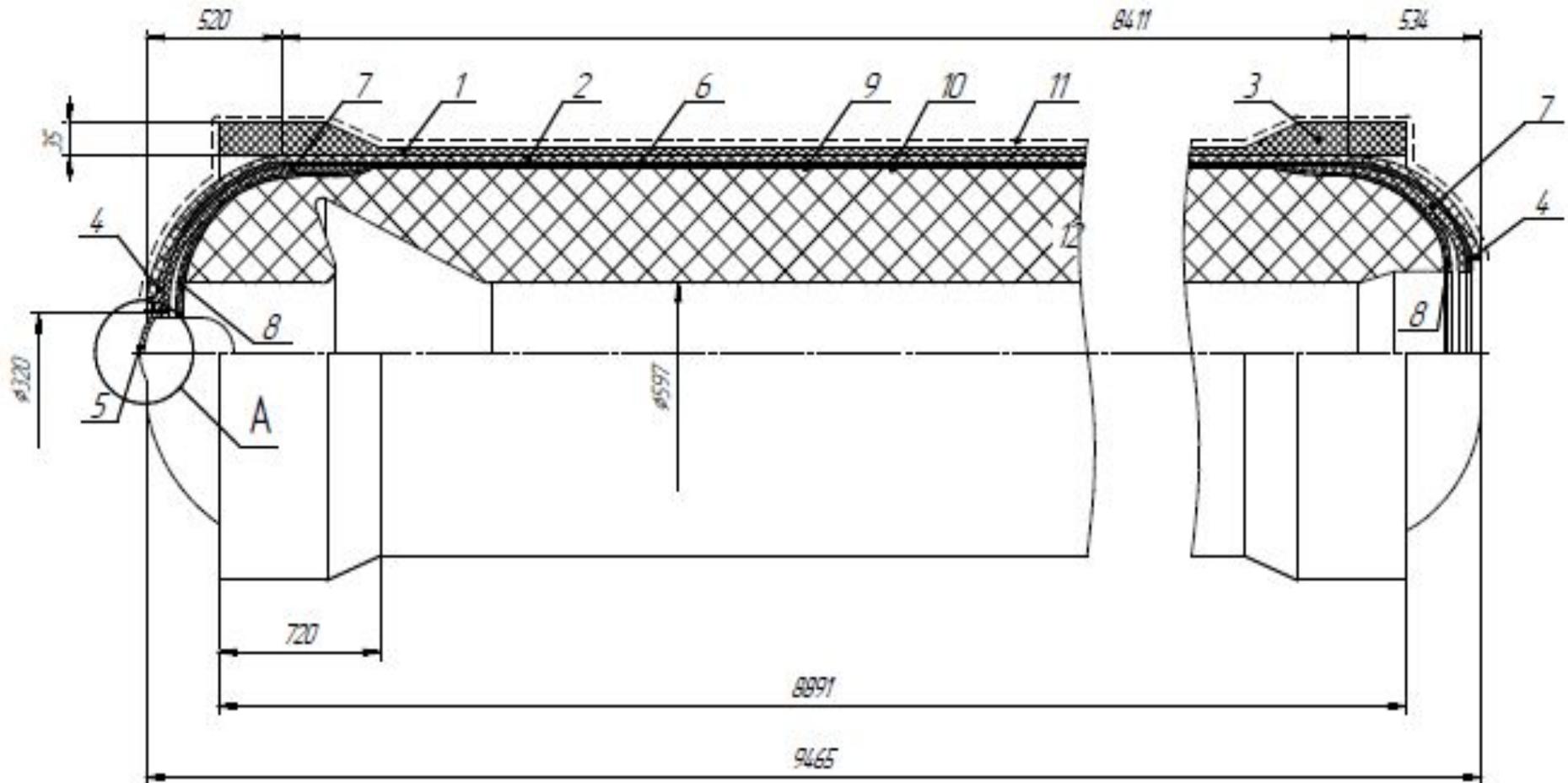


Схема устройства сопла

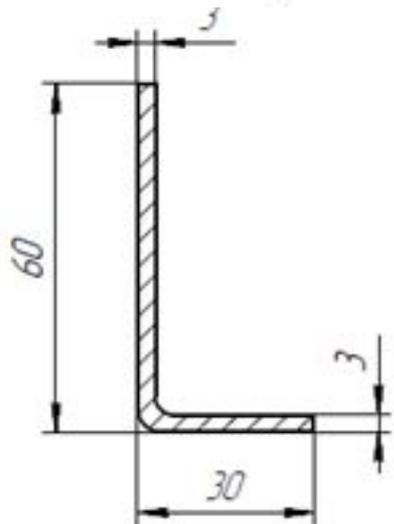


Камера сгорания ДУ

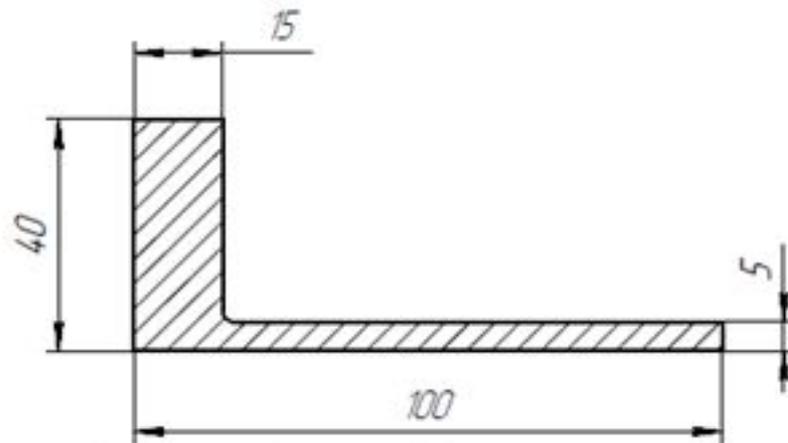


Начальные условия для исследовательской части

Случай	$X_1, Н$	$Y_1, Н$	n_{x1}	n_{y1}	$N_{ЭКВ}, Н$
1	19133	8397.7	7.2567	0.2404	558800
2	3729.3	-38226	3.8324	-0.5705	805400
3	41340	-33666	3.4033	-0.4303	909800
4	38865	38464	3.7347	-0.5643	848400



Стрингер

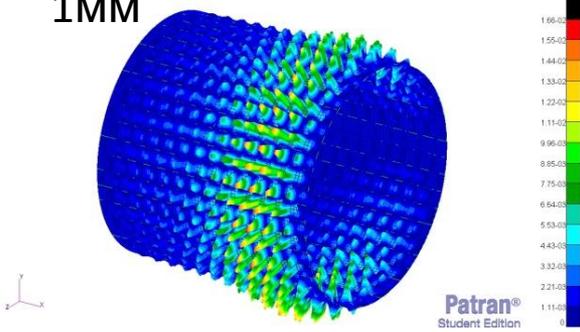


Стыковочный шпангоут

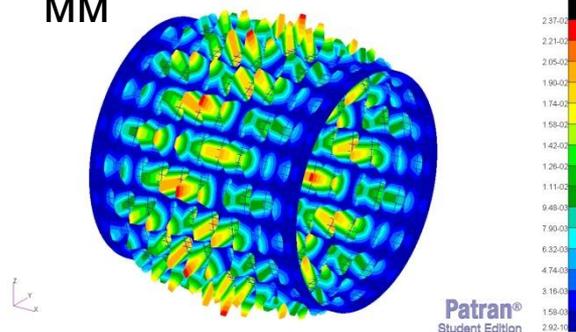
Распределение оптимального количества стрингеров от толщины обшивки

Обшивка

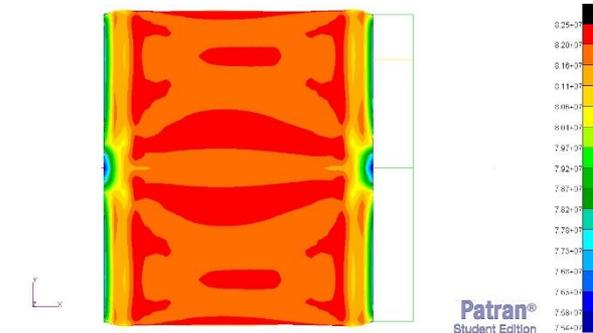
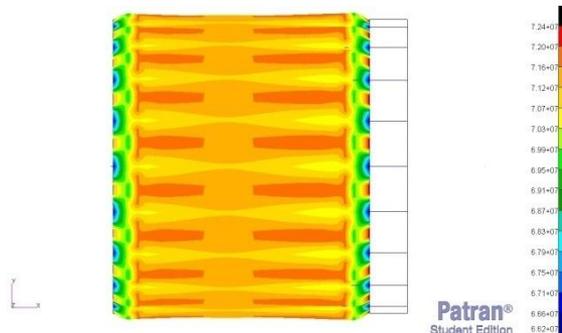
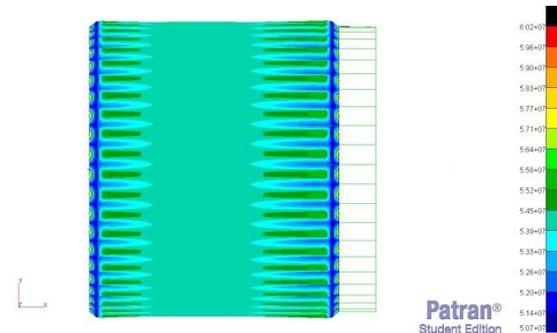
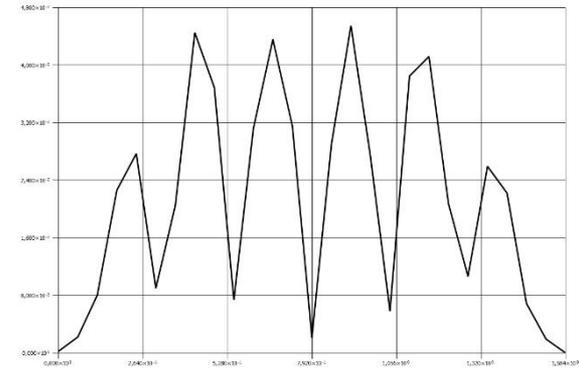
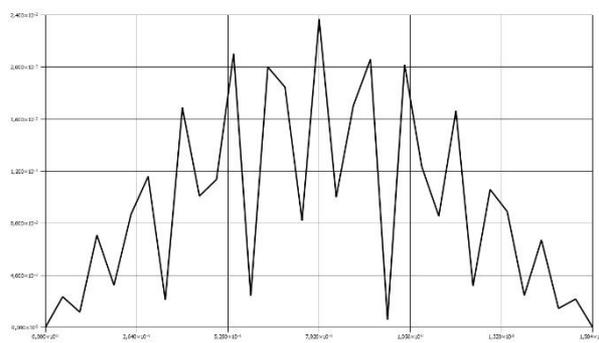
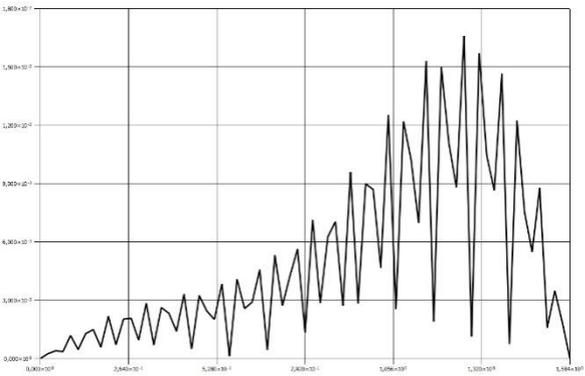
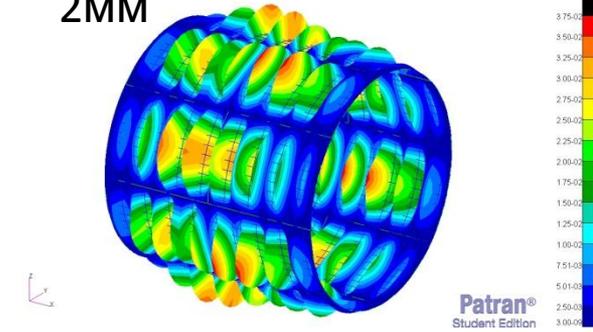
Толщина обшивки
1мм



Толщина обшивки 1.5
мм



Толщина обшивки
2мм



Определение масс отсеков

Толщина оболочки, мм	Количество стрингеров	Коэффициент критической нагрузки	Масса отсека, кг
1	45	1.25192	101.95
1.5	20	1.36467	83.50
2	4	1.3313	93.99
2.5	0	1.84265	81.32

Итоги работы

По итогам проделанной работы:

- Был проведён геометрический и массовый расчёт первой ступени РН СЛК
- Осуществлён анализ активного и пассивного участков траектории
- Выполнен анализ аналогов в существующем сегменте
- Осуществлён расчёт на прочность и устойчивость переходного отсека в комплексе MSC Patran-Nastran

Спасибо за внимание