

Догадкин Владимир Александрович

Трухин Виталий Романович

Аспирант

Сибирский государственный университет науки
и технологий имени академика М.Ф. Решетнева

Красноярск, Россия

СРАВНЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ С РАЗЛИЧНЫМИ КОМБИНАЦИЯМИ МАТЕРИАЛОВ В РАКЕТНОЙ ТЕХНИКЕ

Аннотация: В данной статье проведено сравнение двух конструкций снарядов, состоящих из головной части и заднего днища, соединенных резьбовым соединением. В первой конструкции головная часть выполнена из стали, а днище — из углепластика, во второй — наоборот. Для анализа использованы данные статических исследований, проведенных в SolidWorks Simulation. Результаты показали значительные различия в распределении напряжений, деформациях и запасах прочности, что позволило сделать вывод о преимуществах одной конструкции над другой.

Abstract: This article presents a comparison of two projectile designs, each consisting of a nose section and an aft base connected by a threaded joint. The study aims to determine which material combination provides better strength characteristics under static loading. The analysis is based on static test data obtained from SolidWorks Simulation. The results revealed significant differences in stress distribution, deformations, and safety factors, allowing for conclusions to be drawn regarding the advantages of one design over the other.

Ключевые слова: ракетная техника, резьбовое соединение, композиционный материал, сравнительный анализ, запас прочности.

Key words: rocket technology, threaded connection, composite material, comparative analysis, safety margin.

В ракетной технике присутствует проблема излишней пассивной массы изделия. Из-за этого увеличиваются расходы на топливо и усложняется эксплуатация. [1, с. 101].

Цель исследования — определить, какая комбинация материалов обеспечивает лучшие прочностные характеристики при статической нагрузке. [2, с. 511]

Современные конструкции снарядов требуют высокой прочности и надежности, особенно в зонах резьбовых соединений, которые часто являются критическими. Выбор материалов для составных частей снаряда играет ключевую роль в обеспечении его долговечности и устойчивости к нагрузкам. [3, с. 82]

В данной статье рассматриваются две конструкции:

- 1 Головная часть из стали (легированная сталь SS) и днище из углепластика (Углепластик 2).
- 2 Головная часть из углепластика и днище из стали (AISI 1035).

Обе конструкции подвергались статическому анализу при одинаковых условиях: давление 120000 Н/м^2 , фиксированные и роликовые крепления. Основные параметры сравнения: напряжения фон Мизеса, деформации, запасы прочности и результирующие силы.

Исследование проводилось в SolidWorks Simulation с использованием статического анализа. Для обеих конструкций были заданы следующие параметры:

Тип сетки: твердотельная, с максимальным размером элемента 31.182 мм и минимальным — 6.236 мм.

Нагрузка: давление 120000 Н/м^2 , приложенное перпендикулярно к трем граням.

Крепления: ролик/ползун и зафиксированная геометрия.

Материалы:

- Конструкция 1: сталь (предел текучести 620 МПа) и углепластик (предел текучести 360 МПа).

- Конструкция 2: углепластик и сталь (предел текучести 283 МПа).

Анализировались следующие результаты:

- Напряжения фон Мизеса.
- Результирующие перемещения.
- Эквивалентные деформации.
- Запасы прочности.

В результате анализа получились следующие данные:

Конструкция 1 (головная часть — сталь, днище — углепластик)

Напряжения: Минимальное напряжение — $5.339e+003$ Н/м², максимальное — $9.311e+005$ Н/м². Максимальное напряжение локализовано в узле 6424, что указывает на концентрацию напряжений в зоне резьбового соединения. Эпюра напряжений изображена на рис.1.

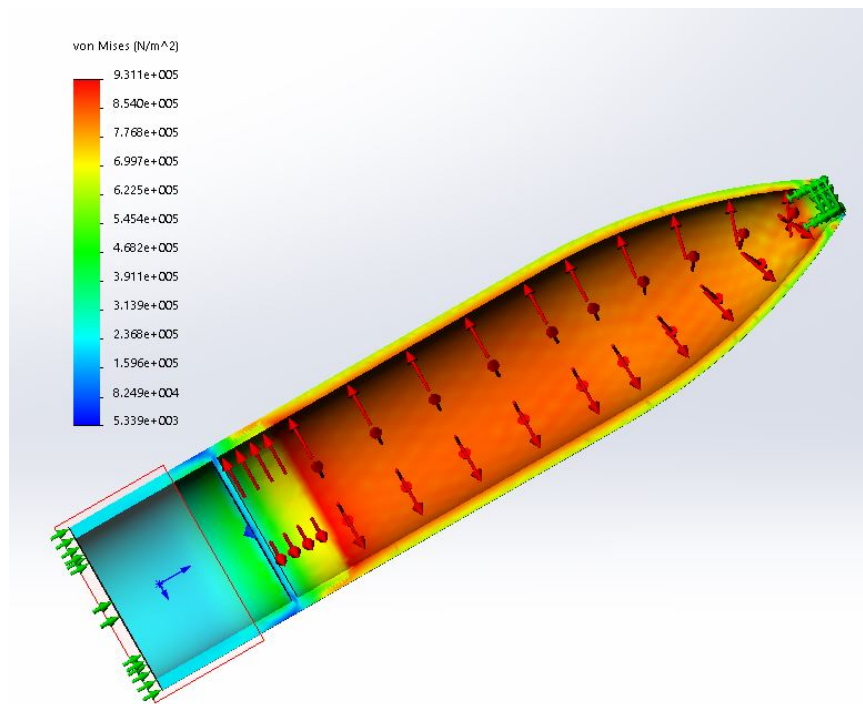


Рисунок 1 Эпюра напряжения в конструкции 1

Перемещения: Максимальное перемещение — $1.027e-003$ мм, что свидетельствует о незначительной деформации.

Деформации: Максимальная эквивалентная деформация — $3.925e-006$, что соответствует упругой деформации.

Запас прочности: Минимальный запас — 505.6, максимальный — 67430, что указывает на высокую надежность конструкции. Эюра запаса прочности изображена на рис.2.

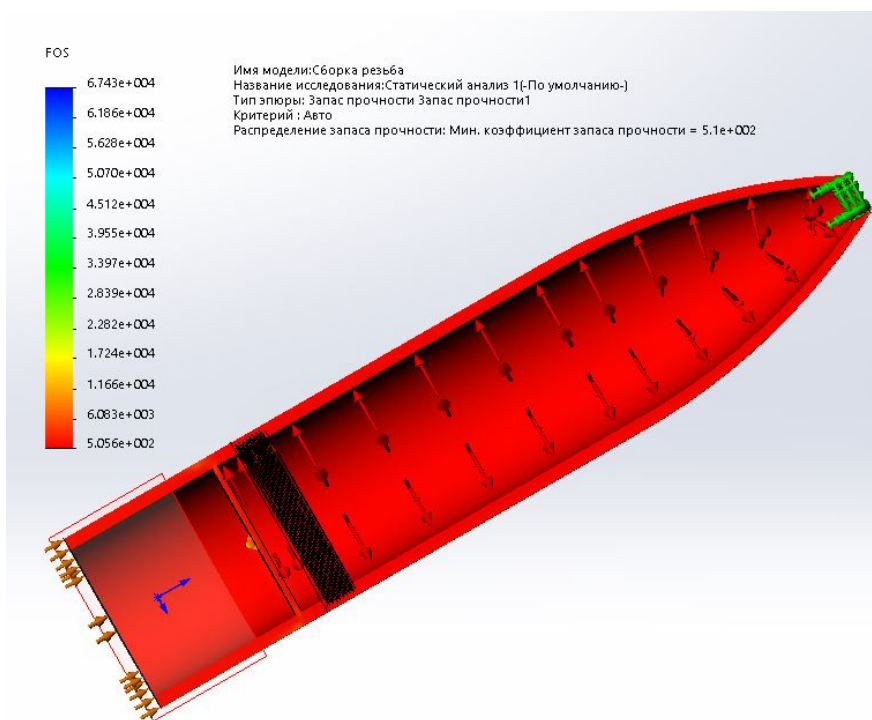


Рис. 2 Эюра запаса прочности в конструкции 1

Конструкция 2 (головная часть — углепластик, днище — сталь) смотри рис.2

Напряжения: Минимальное напряжение — $5.237e+003$ Н/м², максимальное — $1.042e+006$ Н/м². Максимальное напряжение в узле 176, что выше, чем в первой конструкции. Эюра напряжений изображена на рис.3.

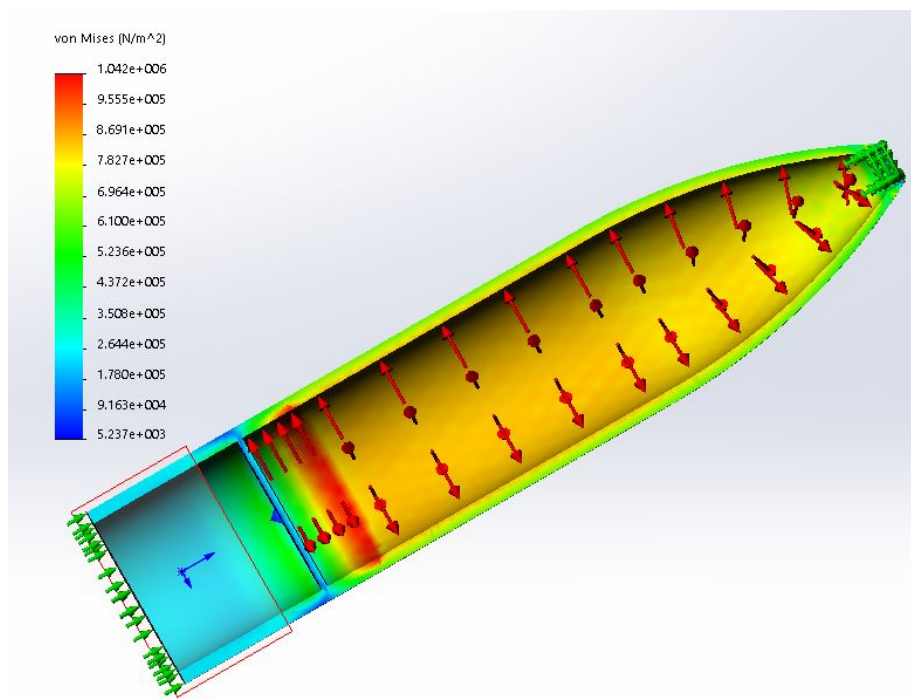


Рис. 3 Эпюра напряжения в конструкции 2

Перемещения: Максимальное перемещение — $8.433e-004$ мм, что несколько меньше, чем в первой конструкции.

Деформации: Максимальная деформация — $4.471e-006$, что также соответствует упругой деформации.

Запас прочности: Минимальный запас — 261.3, максимальный — 53980. Минимальный запас прочности ниже, чем в первой конструкции. Эпюра запаса прочности изображена на рис.4.

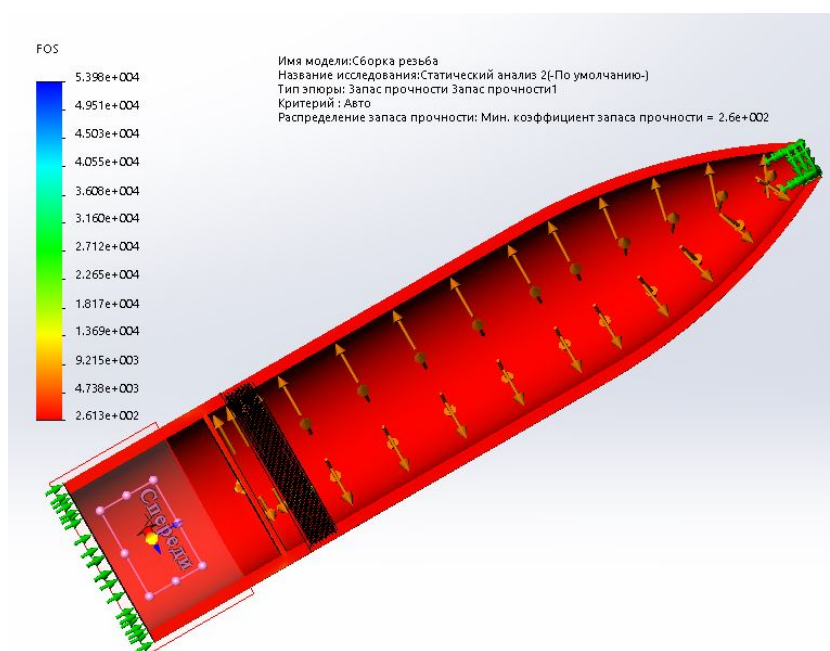


Рис.4 Эпюра запаса прочности в конструкции 2

Сравнение двух конструкций показало следующие ключевые различия:

Напряжения: Вторая конструкция имеет более высокое максимальное напряжение ($1.042e+006$ Н/м² против $9.311e+005$ Н/м²), что связано с меньшим пределом текучести стали AISI 1035 по сравнению с легированной сталью.

Запас прочности: Минимальный запас прочности во второй конструкции (261.3) значительно ниже, чем в первой (505.6), что делает ее менее надежной при длительных нагрузках.

Деформации: Обе конструкции демонстрируют схожие деформации, что указывает на их упругое поведение.

Основная причина различий — свойства материалов. Легированная сталь в первой конструкции имеет более высокий предел текучести (620 МПа против 283 МПа у AISI 1035), что обеспечивает лучшую устойчивость к нагрузкам. Углепластик, несмотря на высокую прочность, менее эффективен в зонах концентрации напряжений, таких как резьбовые соединения. [4, с. 91]

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что первая конструкция (головная часть из стали, днище из углепластика) является более предпочтительной. Она демонстрирует:

- Более низкие максимальные напряжения.
- Высокий минимальный запас прочности (505.6 против 261.3).
- Сопоставимые деформации, что подтверждает ее надежность.

Использование высокопрочной легированной стали для головной части обеспечивает лучшую устойчивость к нагрузкам, в то время как углепластик в днище снижает общую массу конструкции без значительного ущерба для прочности. Вторая конструкция, несмотря на меньшую массу углепластика в головной части, уступает по критическим параметрам, что делает ее менее надежной в условиях статических нагрузок. [5, с. 13]

Библиографический список:

1. Кольга, В. В. Проектирование ракет с ракетным двигателем на твердом топливе: Учебное пособие; Сибирский государственный университет науки и технологии им. ак. М. Ф. Решетнева. – Красноярск, 2004. – 170 с.– Текст: непосредственный.
2. Параметрический анализ прочности сопла ракетного двигателя на твердом топливе / В.А. Догадкин, В.В. Кольга, В.Р. Трухин.// Сибирский аэрокосмический журнал [Электронный ресурс] : научное, производственно-практическое рецензируемое издание (31 окт. 2023 г. Красноярск): в 4 ч. / под общ. ред. С.С. Аплеснина. – СибГУ им. М.Ф. Решетнева. – Красноярск, 2023 – Ч. 3. Режим доступа: <https://vestnik.sibsau.ru/articles/?id=706>. – Загл. с экрана.
3. Научно-техническое развитие России и мира: сборник статей II Международной научно-практической конференции. – Саратов: НОП «Цифровая наука». – 2023. – 294 с.
4. Справочник по композиционным материалам: В 2-х кн. Кн. 2/ Под ред. Дж. Любина; Пер. с англ. А. Б. Геллера, М. М. Гельмонта; Под ред. Б. Э. Геллера. – М.: Машиностроение, 1988. – 261 с. – Текст: непосредственный.
5. Балабух, Л. И. Строительная механика ракет: Учебник для машиностроительных спец. вузов / Л. И. Балабух, Н. А. Алфутов, В. И. Усюкин; Высшая школа, Москва, 1984. – 26 с. – Текст : непосредственный.