

**Федеральное государственное автономное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский государственный университет им. Н.Э.Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им.Н.Э.Баумана)**

Домашнее задание

Тема домашнего задания

по курсу:

«Курс по которому выполняется ДЗ»

Выполнил: Фамилия Имя Отчество

студент группы XX-XX(X)

Проверил: Фамилия Имя Отчество

Москва 20XX

**Федеральное государственное автономное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский государственный университет им. Н.Э.Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им.Н.Э.Баумана)**

Домашнее задание

Тема домашнего задания

по курсу:

«Курс по которому выполняется ДЗ»

Выполнил: Фамилия Имя Отчество

студент группы XX-XX(X)

Проверил: Фамилия Имя Отчество

Москва 20XX

Содержание

Введение	4
1 Определение диаметра шашки «ведущего» заряда	5
2 Влияние свойств топлив на РДТТ	6
3 Подбор пары топлив	8
Заключение	11
Список использованных источников	12

Введение

Торцевой заряд твёрдого топлива, несмотря на ряд преимуществ, таких как простота расчёта баллистических характеристик, высокая технологичность, высокий коэффициент заполнения камеры сгорания [1] имеет главный недостаток, ограничивающий его использование в маршевых двигателях - малая величина площади поверхности горения при значительной толщине свода. В качестве решения данной проблемы в статье [Заряд РДТТ с торцевой конической поверхностью горения] приведена следующая концепция заряда: по оси расположен заряд вспомогательного топлива («ведущий») пренебрежимо малого диаметра, что позволяет торцевой поверхности основного заряда («ведомый») при выгорании глухой вершины конуса не разгораться по сферической поверхности.

Параметры горения топлив «ведущего» и «ведомого» зарядов определяют массово-габаритные характеристики изделия; на поведении двигателя (конечном импульсе) после выгорания «ведущего заряда» в виду наличия дегрессивно догорающих остатков [2]. Таким образом поиск подходящей пары топлив для «ведущего» и «ведомого» зарядов является важной задачей оптимизации при проектировании РДТТ.

Целью работы является определение оптимальной пары топлив для «ведущего» и «ведомого» зарядов.

Основным задачами, решаемыми в работе являются:

- а) определение габаритов «ведущего» и «ведомого» зарядов;
- б) расчёт внутребаллистических характеристик РДТТ на конечном этапе работы.

1 Определение диаметра шашки «ведущего» заряда

Массоприход с поверхности заряда твёрдого топлива определяется по следующей зависимости [3]:

$$\dot{m} = \rho_{\text{т}} \cdot u_1 \cdot p_{\text{к}}^{\nu} \cdot F_{\text{г}}, \quad (1.1)$$

где $\rho_{\text{т}}$ - плотность топлива, u_1 - единичная скорость горения, ν - показатель в законе горения, $p_{\text{к}}$ - давление в камере сгорания, $F_{\text{г}}$ - площадь горения.

Тогда массоприход с поверхности горения для рассматриваемой конфигурации:

$$\dot{m}_{\Sigma} = \rho_{\text{т1}} \cdot u_{\text{г1}} \cdot F_{\text{г1}} + \rho_{\text{т2}} \cdot u_{\text{г2}} \cdot F_{\text{г2}}, \quad (1.2)$$

где индекс 1 используется для топлива «ведомого» заряда, индекс 2 для топлива «ведущего» заряда.

Угол наклона конуса горячей поверхности «ведущего» определяется следующей зависимостью:

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{u_{\text{г1}}}{u_{\text{г2}}} = \frac{u_{11} \cdot p_{\text{к}}^{\nu_1}}{u_{12} \cdot p_{\text{к}}^{\nu_2}} = \frac{u_{11}}{u_{12}} \cdot p_{\text{к}}^{\nu_1 - \nu_2}. \quad (1.3)$$

Тогда площадь горения «ведомого»:

$$F_{\text{г1}} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{D^2 - d^2}{\frac{u_{11}}{u_{12}} \cdot p_{\text{к}}^{\nu_1 - \nu_2}}, \quad (1.4)$$

где D - внешний диаметр «ведомого», d - внутренний диаметр «ведомого».

Подставим значения площадей и скоростей горения в уравнение (1.2) и получим итоговую зависимость:

$$\dot{m} = \rho_{\text{т1}} \cdot u_{12} \cdot p_{\text{к}}^{\nu_2} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) + \rho_{\text{т2}} \cdot u_{12} \cdot p_{\text{к}}^{\nu_2} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}. \quad (1.5)$$

В случае когда на мидель ракеты накладывается ограничение по максимальному диаметру, то из формулы (1.5) можно получить значение диаметра шашки «ведущего» заряда:

$$d = \sqrt{\frac{1}{\rho_{\text{т2}} - \rho_{\text{т1}}} \cdot \left(\frac{4\dot{m}_{\Sigma}}{\pi \cdot u_{12} \cdot p_{\text{к}}^{\nu_2}} - \rho_{\text{т1}} \cdot D^2 \right)}. \quad (1.6)$$

2 Влияние свойств топлив на РДТТ

Характеристики топлив искомой пары напрямую влияют на количество дегрессивно выгорающих остатков, количество которых определяет конечный импульс РДТТ.

Одним из косвенных параметров, который зависит от соотношения скоростей горения топлив является угол наклона свода «ведомого» заряда $\frac{\alpha}{2}$. Угол определяет количество несгоревших остатков. Помимо вышеупомянутого фактора угол определяет момент, в который начнётся дегрессивное горение. На рисунке 2.3 видно, что дегрессивное горение начнётся в то время как не выгорел «ведущий» заряд, тогда как на рисунках 2.1, 2.2 дегрессивное горение начинается в момент выгорания «ведущего» заряда.

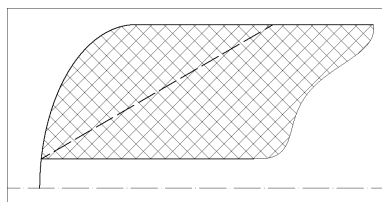


Рисунок 2.1 — 30°

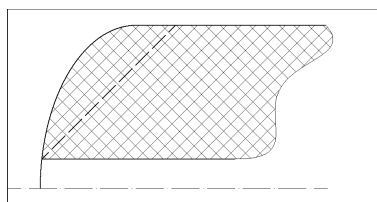


Рисунок 2.2 — 45°

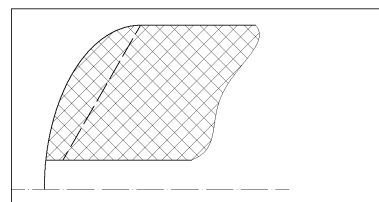


Рисунок 2.3 — 60°

Для форм остатков, представленных на рисунках 2.1, 2.2, 2.3 определим зависимость площади горения от величины сгоревшего свода. Результат представлен на рисунке 2.4 в координатах $F/F_T - e$, где F - площадь горения F_i при величине сгоревшего свода e_i , F_T - площадь горения на режиме $F_T = \text{const}$. По рисунку видно, что увеличение угла наклона свода, не сопровождающееся началом дегрессивного выгорания «ведомого» до полного выгорания «ведущего», приведёт к уменьшению времени действия остатков на изделие, в случае достижения $\alpha > \alpha_{кр}$ время воздействия увеличится ввиду того, что недогоревший «ведущий» заряд тормозит выгорание недогоревших остатков основной массы топлива.

Другим параметром, зависящим от свойств топлив является диаметр шашки «ведущего» заряда d , характер зависимости для которого представлен в виде формулы 1.6. Замена топлива «ведущего» заряда на другое с более высокой скоростью горения приведёт к уменьшению диа-

метра шашки, а следовательно к увеличению количества несгоревших остатков, увеличивающих время нежелательного воздействия.

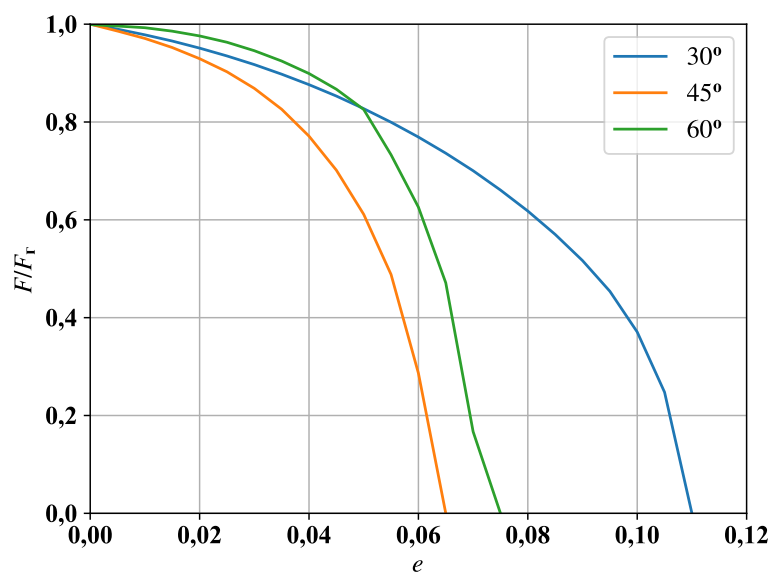


Рисунок 2.4 — Влияние угла наклона свода на площадь горения после выгорания основной части топлива

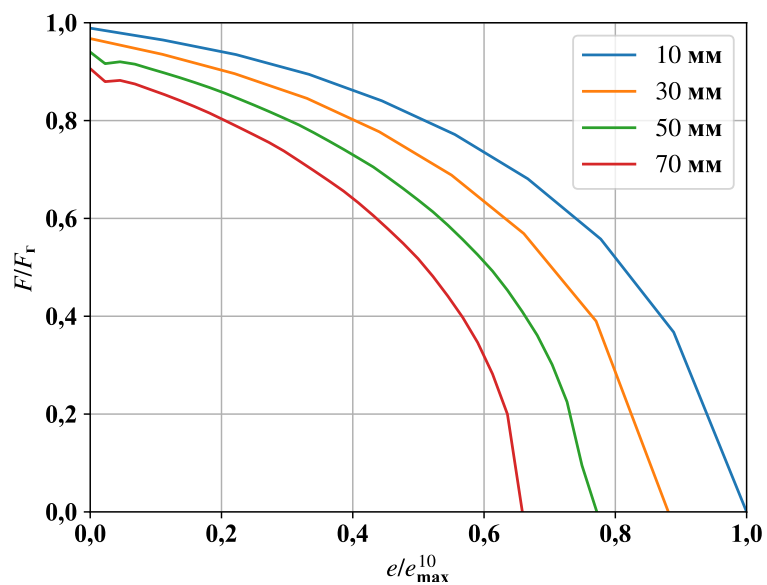


Рисунок 2.5 — Влияние диаметра шашки «ведущего» заряда на площадь горения после выгорания основной части топлива

3 Подбор пары топлив

Пользуясь выкладками, приведёнными в главе 1, можно определить возможную пару для «ведущего» и «ведомого» зарядов. Помимо внешнего диаметра D в формуле (1.6) необходимо также и значение массового расхода, его величину можно определить по следующей зависимости:

$$\dot{m} = \frac{p_k \cdot F_{кр} \cdot A(k)}{\sqrt{R_k T_k}}. \quad (3.1)$$

Значение комплекса $R_k T_k$ определим из следующих соображений. Газовая постоянная смеси газов может быть определена по следующей формуле:

$$R_{см} = \sum_{i=1}^n g_i \cdot R_i. \quad (3.2)$$

Исходя из допущения о том, что камера сгорания является системой со сосредоточенными параметрами [4] температура в камере сгорания может быть определена при решении следующего уравнения относительно температуры в камере сгорания T_k :

$$\dot{m}_1 \int_{T_{k1}}^{T_k} c_{p1}(T) dT = \dot{m}_2 \int_{T_k}^{T_{k2}} c_{p2}(T) dT, \quad (3.3)$$

где $c_{p1}(T)$ и c_{p2} - теплоёмкости продуктов сгорания «ведомого» и «ведущего» зарядов, T_{k1} и T_{k2} - температура в камере сгорания для топлив «ведомого» и «ведущего» зарядов.

Так как изначально точный расход неизвестен, а соответственно и массовые доли продуктов сгорания, для начала зададимся некоторыми величинами площадей, чтобы определить значение расходного комплекса β продуктов сгорания с помощью ПК TERRA [5]. Затем уточнив величину d решим повторно эту задачу до момента достижения $|\dot{m}_\Sigma - \dot{m}| < \varepsilon$. Блок-схема данной итерационной задачи представлена на рисунке 3.1.

Задавшись величинами давления в камере сгорания $p_k = 7$ МПа и внешнего диаметра «ведомого» заряда $D = 0,5$ м по формуле (1.6) определим подходящие для рассматриваемой конфигурации пары топлив из числа приведённых в таблице 3.1 при номинальной температуре, решив вышеописанную итерационную задачу.

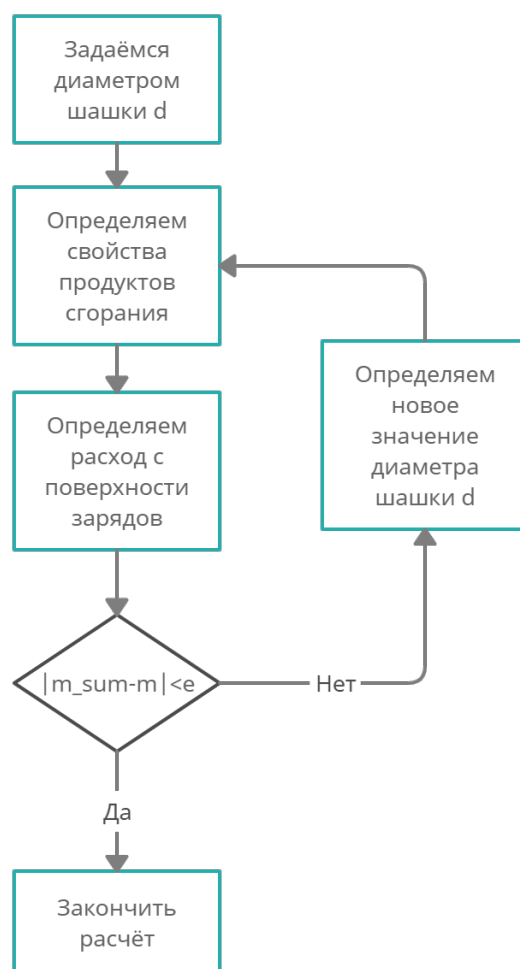


Рисунок 3.1 — Блок-схема определения диаметра шашки d «ведущего» заряда

Таблица 3.1 — Топлива

Топливо	u_1 , мм/с	ν	ρ_T , кг/м ³
AGC	1,93	0,35	1500
ПХА-3М	3,44	0,26	1740
ПХА-4М	6,49	0,24	1800
ПХА-5М	3,44	0,26	1530
ARCADENE 253A	1,55	0,26	1800
CYN	6,49	0,24	1784
Н	0,7	0,6	1600
ПХК-1М	4,72	0,28	2040
ПХН-2М	14,5	0,19	2430
RD 2435	0,635	0,693	1770

По результатам перебора получаем набор наиболее подходящих пар, представленных в таблице (...).

Заключение

По результатам выполненной работы получена зависимость для определения диаметра шашки «ведущего» заряда при условии наложенного ограничения по внешнему диаметру заряда РДТТ, а также рассмотрено влияние свойств топлив на поведение РДТТ на конечном этапе работы.

Список использованных источников

1. *Фахрутдинов, И.Х.* Конструкция и проектирование ракетных двигателей твердого топлива / И.Х. Фахрутдинов, А.В. Котельников. — Рипол Классик, 1987. — 328 с.
2. *Шишков, А.А.* Рабочие процессы в ракетных двигателях твердого топлива: Справочник / А.А. Шишков, С.Д. Панин, Б.В. Румянцев. — М.: Машиностроение, 1988. — 240 с.
3. *Дорофеев, А.А.* Основы теории тепловых ракетных двигателей. Теория, расчёт и проектирование : учебник / А.А. Дорофеев. — 3-е изд., перераб. и доп. изд. — М.:Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2014. — 571 с.
4. *Волков, Е.Б.* Статика и динамика ракетных двигательных установок. Книга 1. Статика. / Е.Б. Волков, Т.А. Сырицын, Г.Ю. Мазинг. — М.:Машиностроение, 1978. — 288 с.
5. *Трусов, Б.Г.* Программная система ТЕРРА для моделирования фазовых и химических равновесий при высоких температурах / Б.Г. Трусов // *III Международный симпозиум «Горение и плазмохимия.* — 2005. — С. 24–26.