



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинов)

Факультет «А» РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ
Кафедра ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА
Дисциплина Б1.В.02 - Энергетические установки

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА
на тему:
ВНУТРЕННЯЯ ГАЗОДИНАМИКА РДТТ
(пояснительная записка)

Студент группы
А9М31

подпись, дата

Ф.А. Юсупов

Руководитель

подпись, дата

В.Н. Емельянов

Санкт-Петербург, 2018

Реферат

Пояснительная записка 20 стр., рис.6, 0 табл., 15 источников,

ГРЕНИЕ, ОКИСЛИТЕЛЬ, ПОРОХ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МО-
ДЕЛЬ, РДТТ, СОПЛО

В реферате дан краткий обзор основных видов ракетного топлива. Также были рассмотрены нестационарные неустойчивые режиму ДУ, нестационарное горение топлива, математическая модель нестационарного горения в РДТТ, акустические свойства горячей поверхности, потери акустической энергии и способы подавления колебаний.

СОДЕРЖАНИЕ

Нормативные ссылки	4
Определения, обозначения и сокращения	5
Введение	6
1 Основные виды ракетного топлива	7
1.1 Твёрдые ракетные топлива	7
1.1.1 Смесевые топлива	7
1.1.2 Баллистные топлива	8
Заключение	10
Список использованной литературы	11

Нормативные ссылки

Настоящая пояснительная записка составлена в соответствии со стандартом организации:

БГТУ.СМК-П-4.2-12 ПОЛОЖЕНИЕ ПО СОДЕРЖАНИЮ, ОФОРМЛЕНИЮ, ОРГАНИЗАЦИИ ВЫПОЛНЕНИЯ И ЗАЩИТЫ КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ И КУРСОВЫХ РАБОТ

При выполнении курсового проекта и оформлении пояснительной записки руководствовались следующими стандартами:

ГОСТ 7.1—84 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления

ГОСТ 8.417—81 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы физических величин

ГОСТ 7.32—2001 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления

ГОСТ 7.54 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Представление численных данных о свойствах веществ и материалов в научно-технических документах. Общие требования.

Определения, обозначения и сокращения

В настоящей пояснительной записке применяются следующие термины с соответствующими определениями:

Перечень обозначений и сокращений, применяемых в данной пояснительной записке

Обозначения

ρ	— плотность
S_p	— площадь поверхности горения
u	— скорость горения
t	— время
ρ_c	— плотность топлива
A_c	— коэффициент истечения
F_m	— минимальное (критическое) сечение сопла
p	— давление
R_g	— газовая постоянная
T_p	— температура продуктов сгорания
x_s	— поверхность разложения топлива
c_c	— теплоемкость материала топлива с температурой T_c
λ_c	— коэффициент теплопроводности материала топлива с температурой T_c
T_0	— начальная температура топлива
Y	— массовая доля реагирующего вещества
D	— коэффициент диффузии реагирующего вещества
k_0	— предэкспоненциальный множитель в законе Аррениуса
E	— эффективные энергии активации химической реакции
T	— температура газа
R	— универсальная газовая постоянная
λ	— коэффициент теплопроводности газа
Q	— суммарный тепловой эффект химической реакции в п
γ	— показатель адиабаты
L	— тепловой эффект разложения топлива на газообразные

Сокращения

ЖРД	— жидкостные ракетные двигатели
РДТТ	— ракетные двигатели твердого топлива
НРП	— неустойчивость рабочего процесса

ВВЕДЕНИЕ

Ракетные двигатели твердого топлива (РДТТ) широко используются в космонавтике, дополняя жидкостные ракетные двигатели (ЖРД), работающие на жидком топливе. Области применения различных типов двигателей определяются их сравнительными конструктивными, энергетическими, эксплуатационными, финансовыми и другими характеристиками. ЖРД широко применяются в качестве маршевых (основных) двигателей, обеспечивающих разгон ракет-носителей и космических аппаратов, их торможение и перевод на другие орбиты. В качестве вспомогательных двигателей ЖРД используются, например, почти во всех реактивных системах управления полетом. РДТТ являются одним из основных типов двигателей современных ракетно-космических систем (ракеты-носители) и ракетного вооружения (баллистические ракеты, реактивные системы залпового огня). Они находят широкое применение в качестве маршевых двигателей, стартовых ускорителей и разгонных блоков, а также двигателей вспомогательного назначения (системы управления, разделения, торможения). Установка навесных РДТТ, включаемых при старте, является эффективным средством повышения мощности ракеты-носителя

1 Основные виды ракетного топлива

От множества факторов зависит выбор ракетного топлива. Цена, удельный импульс, скорость горения, функция зависимости скорости горения от давления, безопасность и технологичность изготовления могут влиять на выбор топлива.

1.1 Твёрдые ракетные топлива

Все заряды твёрдого топлива по внешнему виду представляют собой плотные твёрдые тела. Ракетные пороха как правило имеют тёмно-коричневый цвет и по внешнему виду похожи на роговидное вещество. Смесевые топлива бывают чёрного и чёрно-серого цвета в зависимости от цвета горючего и добавок, и обычно подобны сильно завулканизированной резине, но менее эластичны и более хрупки.

1.1.1 Смесевые топлива

Обширное использование в РДТТ за последние 30 лет получили смесевые топлива, представляющие механическую смесь кристаллического окислителя в виде мелких частиц размером $10^1 \dots 10^2$ мкм и органических полимеров (полисульфидов, полиуретанов, полибутадиенов и др.). Последние являются горючим и одновременно связующим, придающим топливу необходимые физико-механические свойства, обеспечивающие прочность заряда при хранении и горении.

Как сказано в учебнике для машиностроительных вузов "Большинство современных смесевых ТРТ разработано на основе окислителя перхлората аммония (ПХА) NH_4ClO_4 . Это объясняется его доступностью, сравнительно невысокой ценой, а также тем, собственно что при разложении ПХА образуются лишь только газообразные соединения с небольшой молекулярной массой. Недостатком ПХА является сравнительно небольшая массовая доля свободного кислорода в молекуле, составляющая 34%. Использование в смесевых топливах окислителей с высоким содержанием кислорода ($>60\%$), таких как перхлораты нитрония NO_2ClO_4 и нитрозила $NOClO_4$ затруднено вследствие их плохой сопоставимости с горючим компонентом."¹

Для топлив на основе ПХА и обычных полимерных связующих характерна низкая степень зависимости скорости горения от давления и начальной температуры и сравнительно высокие энергетические характеристики. При уменьшении размеров частиц окислителя наблюдается значительное

¹Абугров Д.И.Бобылев В.М. ТЕОРИЯ И РАСЧЕТ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА. МОСКВА. "МАШИНОСТРОЕНИЕ 1987.С.20.

повышение скорости горения. Например, для топлив, содержащих 24% связующего и 76% ПХА при уменьшении размеров частиц окислителя от 100 до 5 мкм скорость горения увеличивается от 8,5 до 26,4 мм/с. Топлива на основе перхлората калия КС104 имеют высокую плотность, но пониженный удельный импульс тяги ($Iy = 1800...2200 \text{ м/с}$) и высокое значение показателя степени v в формуле скорости горения. Перхлорат лития обладает хорошими энергетическими характеристиками, однако вследствие его гигроскопичности и дороговизны внедрение его в производство ТРТ затруднено. Из нитратов в производстве ТРТ распространен нитрат аммония (селитра). Топливо на основе его эффективно, когда необходимо иметь небольшую скорость горения и умеренные температуры в камере сгорания. К недостаткам рассматриваемого топлива следует отнести сравнительно низкий удельный импульс $Iy < 2000 \text{ м/с}$, пониженную плотность, гигроскопичность, а также повышенную температурную чувствительность.²

1.1.2 Баллистные топлива

Химическую основу баллистических топлив составляют органические соединения, включающие богатые кислородом нитро- или нитратные группы. В баллистическом топливе и горючее (элементы С и Н), и окислитель (О), входят в структуру одной молекулы. Одним из главных компонентов баллистического топлива, определяющим его механическую структуру, является нитроклетчатка - продукт нитрации целлюлозы. Предельное содержание азота в нитроцеллюлозе при замещении всех гидроксильных групп целлюлозы нитратными группами $[C_6H_7O_2(ON O_2)_3]$ составляет 14,4%. Для производства баллистических ТРТ может применяться нитроклетчатка с содержанием азота от 11,5 до 13,8%. Чем выше степень нитрации, тем выше кислородный баланс нитроклетчатки, тем выше ее теплота разложения, определяемая формулой

$$Q = 675n_N - 4620 (\text{кДж/кг}),$$

где n_N - процентное содержание азота в нитроцеллюлозе. Однако с ростом n_N снижается стабильность топлива при хранении и возрастает взрывоопасность при производстве зарядов. Вторым обязательным компонентом баллистического топлива является растворитель (пластификатор). Нитроклетчатка образует с растворителем пластичную массу, из которой можно методом проходного прессования (один из наиболее широко распространенных современных методов) изготавливать заряды желательной формы. Обычно используют труднолетучие растворители: нитроглицерин $C_3H_5(ON O_2)_3$, диэтиленгликольдинитрат $(C_4H_8O(ON O_2)_2)_2$, динитротолуол и другие. Топлива на основе этих растворителей и называют баллистическими.

²Абуглов Д.И. Бобылев В.М. ТЕОРИЯ И РАСЧЕТ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА. МОСКВА. "МАШИНОСТРОЕНИЕ" 1987. С.20.

ными. Носителем избыточного кислорода (относительно стехиометрии самого растворителя) является нитроглицерин. Энергетические характеристики топлива улучшаются с увеличением содержания в топливе нитроглицерина.

Предельное содержание нитроглицерина в топливе не превышает 45%, так как при большом его содержании резко снижаются физико-механические свойства топлива и допустимые сроки хранения. . Перечисленные растворители, как и нитроцеллюлоза, являются активными компонентами; ввиду наличия двух основных энергетических компонентов эти топлива иногда называют двух-основными. Для получения необходимых физико-химических и физико-механических свойств в топливо вводят различные добавки.[1, с. 18]

При хранении двухосновного топлива происходит постепенное разложение нитроцеллюлозы с выделением окислов азота, являющихся катализаторами разложения нитроцеллюлозы. Чтобы затормозить процесс разложения и тем самым повысить стабильность топлива и собственно сроки хранения, в топливо вводят специальные вещества, называемые стабилизаторами. Стабилизаторы, вступая в химическую реакцию с окислами азота, связывают их, уменьшая тем самым автокаталитическое действие их на нитроцеллюлозу. В качестве стабилизаторов в современных двухосновных топливах применяют этилцентралит $C_{17}H_{20}ON_2$ и дифениламин $C_{12}H_{11}N$. Для повышения термопластичности нитроцеллюлозы при прессовании в состав топлива вводят технологические добавки - пластификаторы: воск, вазелин, минеральные масла и другие вещества. Пластификаторы увеличивают эластичность зарядов и уменьшают чувствительность к детонации. В топливо могут вводиться специальные вещества, служащие катализаторами горения. Их вводят для увеличения скорости горения и устойчивости процесса горения при минимальном давлении, а также для повышения полноты сгорания. В качестве катализаторов применяют окислы свинца и титана, серноокислый калий и другие.³

³Абуглов Д.И.Бобылев В.М. ТЕОРИЯ И РАСЧЕТ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА. МОСКВА. "МАШИНОСТРОЕНИЕ 1987.С.17.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В своей работе я рассматривал нестационарное горение топлива. Показанная в работе единая акустическая природа низкочастотной и высокочастотной неустойчивостей согласуется со сложившимися современными представлениями. Возникновение акустической неустойчивости может приводить (если нет погасания) к росту или небольшому падению среднего давления в камере. В проведенных расчетах среднее давление всегда немного падает, несмотря на рост средней скорости горения. Это происходит из-за запаздывания давления относительно скорости горения, т. к. изменение скорости горения зависит от давления опосредованно через изменение температуры. Отсюда следует вывод, что среднее давление в камере будет повышаться при снижении сдвига фаз между давлением и скоростью горения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абугов Д. И., Бобылев В. М. А17 Теория и расчет ракетных двигателей твердого топлива. Учебник для машиностроительных вузов.- М.: Машино-строение, 1987. - 272 с.
2. Волков К.Н., Емельянов В.Н., Зазимко В.А. Турбулентные струи: статистические модели и моделирование крупных вихрей. Москва: Физматлит, 2013.
3. Волков К.Н., Емельянов В.Н. Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа. Москва: Физматлит, 2012. 468 с. ISBN 978-5-9221-1438-7
4. Волков К.Н., Емельянов В.Н. Моделирование крупных вихрей в расчетах турбулентных течений. Москва: Физматлит, 2008. 364 с. ISBN 978-5-9221-0920-8.
5. Волков К.Н., Емельянов В.Н., Курова И.В. Нестационарные турбулентные двухфазные течения в камерах сгорания РДТТ. Труды VII Всероссийской конференции по внутрикамерным процессам и горению в установках на твердом топливе и ствольных системах (ICOS-2011), 29-31 марта, Ижевск, Россия. Ижевск: Изд-во ИПМ УрО РАН, 2011. С. 94-112.
6. Моделирование акустической неустойчивости в камере ракетного двигателя твердого топлива. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. Р. Мырзакулов*, М.Ж. Козыбаков**, К.О. Сабденов. 2006. С. 109-113.
7. Нестационарные процессы горения в ракетных двигателях. Итоги науки и техники. Авиационные и ракетные двигатели. /Под ред. А.З. Чулкова. Т.2. М.: ВИНТИ, 1977. – 199 с.
8. *Рэлей (Дж. В. Стрэтт)* Теория звука. Т. 1,2. М.-Л.: Гостехиздат, 1940.
9. *Раушенбах Б.В.* Вибрационное горение. М.: ФМ, 1961. – 500 с.
10. Solid Propellant Rocket Research./Ed. by M. Summerfield. – Progress in Aeronautics and Rocketry. Vol. 1. Academic press. New York-London 1960.
11. Fundamentals of Solid-Propellant Combustion. Solid Propellant Rocket Research./Ed. by K.K. Kuo and M. Summerfield. – Progress in Aeronautics and Aeronautics. Vol. 90. AIAA, New York, 1984.
12. Nonsteady Burning and Combustion Stability of Solid Propellants. /Ed. by L.D. Luca, E.W. Price and M. Summerfield. – Progress in Aeronautics and Aeronautics. Vol. 143. AIAA, New York, 1992.
13. *Баррер М., Жомотт А., Вебек Б.Ф., Ванденкеркхове Ж.* Ракетные двигатели. - М.: Оборонгиз, 1962. – 799 с.
14. *Зельдович Я.Б., Лейпунский О.И., Либрович В.Б.* Теория нестационарного горения пороха. М.: Наука, 1975. – 131 с.
15. *Новожилов Б.В.* Нестационарное горение твердых ракетных топлив. М.: Наука, 1973. – 176 с.