

Министерство образования и науки Российской Федерации  
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

Л.К. ГУСАЧЕНКО, С.П. ИВАНИЯ

# РАКЕТНЫЕ ДВИГАТЕЛИ: ОСНОВЫ ТЕОРИИ ГОРЕНИЯ РАКЕТНЫХ ТОПЛИВ

Утверждено Редакционно-издательским советом университета  
в качестве учебного пособия

НОВОСИБИРСК  
2009

УДК 621.454.3(075.8)  
Г 961

Рецензенты:  
канд. техн. наук *К.Е. Милевский*,  
нач. отдела испытаний ОАО Ин-та прикладной физики  
*А.А. Полиновский*

Работа выполнена на кафедре  
газодинамических импульсных устройств

**Гусаченко Л.К.**

Г 961 Ракетные двигатели : основы теории горения ракетных топлив : учеб. пособие / Л.К. Гусаченко, С.П. Ивания. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2009. – 80 с.

ISBN 978-5-7782-1106-3

Рассмотрены актуальные вопросы теории процессов, происходящих в твердотопливных ракетных двигателях, в применении к курсу «Основы проектирования двигателей». После каждого раздела теории даны задания для самостоятельной работы студентов. Приведены также сведения по истории создания и использованию жидкостных ракетных двигателей.

Предназначено для студентов 4-го курса ФЛА, обучающихся по специальности 170103 «Средства поражения и боеприпасы».

УДК 621.454.3(075.8)

ISBN 978-5-7782-1106-3

© Гусаченко Л.К., Ивания С.П., 2009  
© Новосибирский государственный  
технический университет, 2009

## Содержание

Введение .....	5
<b>Раздел I. Двигатели на твердом топливе .....</b>	<b>5</b>
<i>Глава 1. Что известно о ракетах.....</i>	<i>5</i>
1.1. Определения .....	5
1.2. История создания ракет .....	6
<i>Глава 2. Скорость ракеты.....</i>	<i>8</i>
2.1. Формула Циолковского .....	9
2.2. Многоступенчатые ракеты .....	11
<i>Глава 3. Типичные составы твердых ракетных топлив .....</i>	<i>12</i>
<i>Глава 4. Тяга (реактивная сила) и единичный импульс .....</i>	<i>15</i>
4.1. Выражения для тяги и единичного импульса.....	15
4.2. Сопло Лаваля: теплообмен, массовый расход, скорость и давление на срезе .....	17
4.3. От чего зависит единичный импульс?.....	21
<i>Глава 5. Температура и давление в ракетной камере .....</i>	<i>22</i>
5.1. Температура в ракетной камере .....	22
5.2. Давление в ракетной камере.....	24
<i>Глава 6. Роль показателя <math>\nu</math> в зависимости скорости горения от давления .....</i>	<i>25</i>
6.1. Оценка разброса давления, значения показателя $\nu$ .....	25
6.2. Величина $\nu$ : требование устойчивости .....	26
<i>Глава 7. Эмпирический закон горения.....</i>	<i>27</i>
7.1. Зависимость от давления .....	29
7.2. Зависимость от начальной температуры .....	30
7.3. Зависимость от обдува .....	30
7.4. Влияние перегрузок .....	32
<i>Глава 8. Процессы в волне горения.....</i>	<i>33</i>
8.1. Характеристики волны горения.....	33
8.1.1. Температурные профили .....	33
8.1.2. Уравнение для стационарного температурного профиля, распределение Михельсона .....	33
8.2. Новые представления о механизме горения гомогенных ТРТ, неустойчивость и «собственная турбулентность» .....	35
<i>Глава 9. Форма заряда .....</i>	<i>37</i>
9.1. Торцевой заряд .....	38
9.2. Заряды из канальных цилиндрических шашек .....	38

9.3. Рулонный заряд .....	39
9.4. Форма крупногабаритных зарядов .....	40
9.5. Принцип Гюйгенса .....	42
<i>Глава 10. Нестационарные явления в двигателях .....</i>	<i>44</i>
10.1. Нормальный выход на рабочий режим .....	44
10.2. Истечение после конца горения .....	44
10.3. Выход на стационарный режим после быстрого изменения дав- ления или критического сечения .....	46
10.3.1. Грубая оценка .....	46
10.3.2. Более точная «нульмерная» оценка .....	47
10.4. Чисто гидродинамическая неустойчивость .....	49
10.4.1. Вихри .....	50
10.4.2. Энтропийные волны .....	52
10.5. «Акустическая» неустойчивость .....	53
10.6. Неустойчивость по Зельдовичу–Новожилову .....	55
10.7. Неустойчивость, связанная с недогоранием .....	57
<i>Глава 11. Регулируемые РДТТ .....</i>	<i>58</i>
11.1. Регулирование критическим сечением .....	58
11.2. Тепловой нож .....	59
11.3. Ракетные двигатели на твердом топливе с электродуговым фи- тилем .....	61
<b>Раздел II. Другие виды ракетных двигателей .....</b>	<b>62</b>
<i>Глава 1. История создания и использования жидкостных ракетных дви- гателей .....</i>	<i>62</i>
<i>Глава 2. Жидкостный ракетный двигатель на однокомпонентном топ- ливе .....</i>	<i>64</i>
<i>Глава 3. Двухкомпонентные ЖРД .....</i>	<i>67</i>
<i>Глава 4. Топлива для жидкостных ракетных двигателей .....</i>	<i>75</i>
<i>Глава 5. Космические ракетные двигатели .....</i>	<i>78</i>
<i>Литература .....</i>	<i>79</i>