

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический
университет»

Кафедра «Ракетные двигатели»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению практических и самостоятельных работ по
дисциплине «Теория и расчет жидкостных ракетных
двигателей» для студентов специальности 160700.65, 24.05.02
«Проектирование авиационных и ракетных двигателей» очной
формы обучения

Воронеж 2015

Составители: д-р техн. наук В.Д. Горохов,
д-р техн. наук И.Г. Дроздов,
д-р техн. наук А.В. Кретинин

УДК 621.455

Методические указания для выполнения практических и самостоятельных работ по дисциплине «Теория, расчет и проектирование ЖРД» для студентов специальности 160700.65, 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» очной формы обучения / ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет"; сост. В.Д. Горохов, И.Г. Дроздов, А.В. Кретинин. Воронеж, 2015. 25 с.

В методических указаниях предложены вопросы и задачи, необходимые для закрепления теоретических знаний по разделам «Основы теории и устройства РД» и «Расчеты рабочих процессов в элементах и агрегатах ЖРД».

Библиогр.: 4 назв.

Рецензент д-р техн. наук, проф. А.Ф. Ефимочкин
Ответственный за выпуск зав. кафедрой д-р техн. наук
проф. В.С. Рачук

Издается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета.

© ФГБОУ ВПО "Воронежский
государственный технический
университет", 2015

ВВЕДЕНИЕ

В методических указаниях предложены вопросы и задачи, необходимые для закрепления теоретических знаний по разделам «Основы теории и устройства РД» и «Расчеты рабочих процессов в элементах и агрегатах ЖРД».

Все вопросы и задачи можно разделить на три группы. В первой группе для правильного ответа достаточно знание физической сущности и полного понимания проблемы – ответ носит качественный характер. Вопросы второй группы требуют знания числовых значений некоторых параметров и характеристик двигателей. В третьей группе можно отнести задачи, где для получения правильного ответа необходимо провести несложные приближённые вычисления.

При составлении методических указаний использовались следующие материалы: контрольные вопросы заимствованы, в основном, из [1]. Кроме того, несколько вопросов взято из [2] и [3]. Задачи составлены по материалам [3] и [4].

**Задания входного контроля знаний студентов по
результатам изучения дисциплины в первом семестре**

1. Тяга ЖРД $P=30$ кН, удельный импульс $I_y=3000$ м/с. Чему равен массовый расход через этот ЖРД?
2. Главная составляющая тяги определяется как...
3. Режим работы камеры с недорасширением возникает, когда...
4. Коэффициент тяги камеры – это...
5. Коэффициент потерь на привод ТНА учитывает...
6. Наступление баланса мощности турбины и насосов называется...
7. Кривая располагаемой мощности турбины – это...
8. Коэффициент избытка окислителя это...
9. В каком сечении максимальная температура продуктов сгорания по длине камеры ЖРД?
10. В каком сечении максимальное давление по длине камеры ЖРД?
11. В каком сечении максимальная скорость по длине камеры ЖРД?
12. Что такое удельная масса ЖРД?
13. Что такое геометрическая степень расширения сопла?
14. В каком случае удельный импульс тяги равен скорости истечения продуктов сгорания на срезе сопла?
15. Какое топливо в настоящее время энергетически наиболее совершенно?
16. Почему называется "окислительная" схема ЖРД?
17. На двигателе какой ступени при одинаковых давлении в камере сгорания и тяге площадь среза сопла больше?

18. Что больше: эффективная скорость истечения или характеристическая скорость?
19. Сколько уравнений содержит система приближенного термодинамического расчета, если топливо состоит из трех химических элементов - Н, С и О ?
20. Какова размерность коэффициента избытка окислителя?
21. Что такое химическое равновесие?
22. Какие результаты мы ищем при решении системы химического равновесия?
23. Чем ограничивается величина давления в камере сгорания для схем с дожиганием?
24. Что определяет в реактивном движении формула Циолковского?
25. Что понимается под "автономностью" работы ракетного двигателя?
26. Укажите характерные значения $I_{\text{у}}$ ЖРД.
27. Какое давление в КС характерно для ЖРД с турбонасосной подачей компонентов топлива без дожигания?
28. Какова мощность кислородно-водородного ЖРД на расчетном режиме при тяге $P=1$ МН и удельном импульсе $I_{\text{у}}=4400$ м/с?

Контрольные вопросы к разделу «Основы теории и устройства РД»

Общее условие:

- рассматривается идеальный тепловой ракетный двигатель;
- рабочее тело и топливо одинаковы, т.е. T^* , R , $k=\text{idem}$

–если говорится об изменении каких-то параметров, то остальные параметры, если это возможно, сохраняют свои значения, если иное не оговорено специально.

Вопрос к каждому заданию варианта: обосновать правильность или неправильность каждого из представленных утверждений или показать невозможность его однозначной оценки.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 1

1. Увеличение давления в камере сгорания приводит к увеличению:

1.1. Скорости рабочего тела в минимальном сечении сопла;

1.2. Числа Маха в выходном сечении сопла;

1.3. Плотности рабочего тела в критическом сечении сопла;

1.4. Произведения плотности рабочего тела на его скорость в минимальном сечении сопла

2. Увеличение площади выходного сечения сопла приводит к...

2.1. Снижению плотности рабочего тела в выходном сечении сопла;

2.2. Росту давления в критическом сечении;

2.3. Возрастанию разности между давлением в камере сгорания и давлением в минимальном сечении сопла;

2.4. Снижению температуры рабочего тела в выходном сечении сопла

3. Уменьшение площади критического сечения сопла при сохранении площади его выходного сечения для одного и того же расхода топлива приводит к...

3.1. Росту скорости рабочего тела в минимальном сечении сопла;

3.2. Росту плотности рабочего тела в камере сгорания;

3.3. Сохранению соотношения между давлением в камере сгорания и в критическом сечении сопла, т.е. $p_k/p_{кр}=\text{const}$;

3.4. Снижению температуры рабочего тела в выходном сечении сопла

4. При увеличении площадей критического сечения и выходного сечения сопла в 2 раза...

4.1. Скорость истечения увеличится;

4.2. Отношение давлений в камере сгорания и в выходном сечении сопла сохранится, т.е. $p_k/p_a=\text{const}$;

4.3. Разность температур в камере сгорания и в выходном сечении сопла увеличится;

4.4. Безразмерная скорость (коэффициент скорости) λ_a в выходном сечении сопла не изменится

5. Увеличение диаметра критического сечения сопла в 2 раза при одновременном уменьшении расхода топлива в 2 раза вызывает...

5.1. Увеличение давления в камере сгорания;

5.2. Увеличение давления в выходном сечении сопла;

5.3. Снижение скорости истечения;

5.4. Уменьшение числа Маха рабочего тела в выходном сечении сопла

6. Увеличение давления в камере сгорания приводит к росту:

6.1. Безразмерной скорости рабочего тела (коэффициента скорости) λ в минимальном сечении сопла;

6.2. Температуры рабочего тела в сечении сопла, где число Маха равняется 0,5;

6.3. Плотности рабочего тела в выходном сечении сопла;

6.4. Скорости звука в рабочем теле в критическом сечении сопла

7. Увеличение площади выходного сечения сопла приводит к росту...

7.1. Давления в выходном сечении;

7.2. Температуры в выходном сечении сопла;

7.3. Разности давлений рабочего тела в камере сгорания и в выходном сечении сопла ($p_k - p_a$);

7.4. Числа Маха в выходном сечении сопла

8. Уменьшение площади критического сечения сопла при сохранении площади его выходного сечения для одного и того же расхода топлива приводит к...

8.1. Сохранению отношения скоростей рабочего тела в выходном сечении сопла и его минимальном сечении ;

8.2. Сохранению соотношения между давлением в камере сгорания и в критическом сечении сопла;

8.3. Снижению разности температуры рабочего тела в камере сгорания и в выходном сечении сопла;

8.4. Сохранению скорости рабочего тела в критическом сечении сопла

9. При увеличении площадей критического сечения и выходного сечения сопла в 2 раза...

9.1. Скорость истечения не изменится;

9.2. Отношение плотностей рабочего тела в камере сгорания и в выходном сечении сопла не изменится;

9.3. Разность чисел Маха и приведенной скорости (коэффициента скорости) λ_a в выходном сечении сопла может поменять знак;

9.4. Число Маха в выходном сечении сопла не увеличится

10. Увеличение диаметра критического сечения сопла в 2 раза при одновременном уменьшении расхода топлива в 2 раза вызывает...

10.1. Увеличение давления в камере сгорания;

10.2. Изменение давления в выходном сечении сопла;

10.3. Рост скорости истечения;

10.4. Изменение температуры рабочего тела в критическом сечении сопла

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 2

1. Увеличение расхода рабочего тела приводит к росту:

1.1. Скорости рабочего тела в выходном сечении сопла;

1.2. Скорости звука в выходном сечении сопла;

1.3. Плотности рабочего тела в критическом сечении сопла;

1.4. Давления рабочего тела в минимальном сечении сопла

2. Уменьшение площади выходного сечения сопла приводит к росту...

2.1. Давления в выходном сечении сопла;

2.2. Температуры в выходном сечении сопла;

2.3. Разности между давлением в камере сгорания и давлением в выходном сечении сопла;

2.4. Числа Маха в выходном сечении сопла

3. Увеличение площади критического сечения сопла при сохранении площади его выходного сечения для одного и того же расхода топлива приводит к...

3.1. Сохранению постоянным отношения скоростей в выходном и в минимальном сечении сопла;

3.2. Сохранению значения скорости в минимальном сечении сопла;

3.3. Росту отношения давлений в камере сгорания и в выходном сечении сопла;

3.4. Снижению разности температур рабочего тела в камере сгорания и выходном сечении сопла

4. При уменьшении диаметров критического сечения и выходного сечения сопла в 2 раза...

4.1. Отношение плотностей рабочего тела в камере сгорания и выходном сечении сопла не изменится;

4.2. Отношение давлений в камере сгорания и в минимальном сечении сопла сохранится;

4.3. Разность температур в камере сгорания и в минимальном сечении сопла увеличится;

4.4. Скорость истечения уменьшится

5. Уменьшение диаметра критического сечения сопла в 2 раза при одновременном уменьшении расхода топлива в 2 раза приводит к тому, что:

5.1. Давление в камере сгорания не увеличивается;

5.2. Скорость в выходном сечении сопла растет;

5.3. Температура в критическом сечении не снижается;

5.4. Плотность в минимальном сечении сопла растет

6. Уменьшение расхода топлива приводит к увеличению:

6.1. Скорости рабочего тела в выходном сечении сопла;

6.2. Скорости звука в сечении сопла, где число Маха равно 0,5;

6.3. Плотности рабочего тела в критическом сечении сопла;

6.4. Давления в минимальном сечении сопла

7. Уменьшение площади выходного сечения сопла приводит к...

7.1. Росту давления в критическом сечении;

7.2. Возрастанию разности между давлением в камере сгорания и давлением в выходном сечении сопла;

7.3. Росту температуры рабочего тела в выходном сечении сопла

7.4. Снижению плотности рабочего тела в выходном сечении сопла

8. Увеличение площади критического сечения сопла при сохранении площади его выходного сечения для одного и того же расхода топлива приводит к...

8.1. Уменьшению давления в камере сгорания;

8.2. Сохранению отношения давлений в выходном сечении и в критическом сечении сопла;

8.3. Снижению числа Маха рабочего тела в выходном сечении сопла;

8.4. Росту произведения плотности рабочего тела на его скорость в выходном сечении сопла

9. При уменьшении площадей критического сечения и выходного сечения сопла в 2 раза...

9.1. Скорость истечения не увеличится;

9.2. Отношение температур в камере сгорания и в выходном сечении сопла не уменьшится;

9.3. Разность числа Маха и приведенной скорости (коэффициента скорости) λ_a рабочего тела в выходном сечении сопла не изменит знак;

9.4. Число Маха в выходном сечении сопла не изменится

10. Уменьшение диаметра критического сечения сопла в 2 раза при одновременном снижении расхода топлива в 2 раза вызывает...

10.1. Увеличение давления в критическом сечении сопла;

10.2. Увеличение скорости истечения;

10.3. Снижение плотности рабочего тела в выходном сечении сопла;

10.4. Увеличение числа Маха рабочего тела в выходном сечении сопла.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 3

1. Уменьшение давления в камере сгорания приводит к снижению:

1.1. Безразмерной скорости рабочего тела (коэффициента скорости) λ_a в выходном сечении сопла;

1.2. Плотности рабочего тела в выходном сечении сопла;

1.3. Скорости звука в критическом сечении сопла;

1.4. Температуры рабочего тела в сечении, где число Маха равно 1

2. Увеличение площади выходного сечения сопла вызывает рост...

2.1. Температуры рабочего тела в выходном сечении;

2.2. Разности между температурой в камере сгорания и температурой в выходном сечении сопла ($T_k - T_a$);

2.3. Скорости истечения;

2.4. Числа Маха в выходном сечении сопла

3. Уменьшение площади критического сечения сопла при сохранении площади его выходного сечения для одного и того же расхода топлива приводит к...

3.1. Уменьшению давления в камере сгорания;

3.2. Сохранению отношения давлений рабочего тела в выходном сечении и в критическом сечении сопла, т.е. $p_a/p_{кр}=\text{const}$;

3.3. Увеличению числа Маха в выходном сечении сопла;

3.4. Росту произведения плотности рабочего тела на его скорость в выходном сечении сопла $(\rho w)_a$

4. При уменьшении площадей критического сечения и выходного сечения сопла в 2 раза...

4.1. Скорость истечения уменьшится;

4.2. Разность давлений в камере сгорания и в выходном сечении сопла сохранится, т.е. $(p^* - p_a)=\text{const}$;

4.3. Отношение температур в камере сгорания и в выходном сечении сопла сохранится, т.е. $T^*/T_a=\text{const}$;

4.4. Число Маха в выходном сечении сопла не изменится

5. Увеличение площади критического сечения сопла в 2 раза при одновременном увеличении расхода топлива в 2 раза приводит к тому, что...

5.1. Давление в камере сгорания не увеличится;

5.2. Разность температур в камере сгорания и в выходном сечении не изменится т.е. $(T^* - T_a)=\text{const}$;

5.3. Плотность рабочего тела в минимальном сечении растет;

5.4. Скорость истечения падает

6. Увеличение расхода рабочего тела приводит к снижению:

- 6.1. Скорости рабочего тела в минимальном сечении сопла;
 - 6.2. Температуры в выходном сечении сопла;
 - 6.3. Давления рабочего тела в выходном сечении сопла;
 - 6.4. Произведения плотности рабочего тела на его скорость в выходном сечении сопла
- 7. Увеличение площади выходного сечения сопла приводит к...*
- 7.1. Снижению температуры торможения рабочего тела в выходном сечении сопла;
 - 7.2. Возрастанию разности температур в камере сгорания и в выходном сечении сопла;
 - 7.3. Росту скорости истечения;
 - 7.4. Снижению произведения плотности рабочего тела на его скорость в выходном сечении сопла
- 8. Уменьшение площади критического сечения сопла при сохранении площади его выходного сечения для одного и того же расхода топлива приводит к...*
- 8.1. Росту плотности рабочего тела в камере сгорания;
 - 8.2. Сохранению отношения между давлением в камере сгорания и в критическом сечении сопла;
 - 8.3. Снижению температуры рабочего тела в выходном сечении сопла
 - 8.4. Росту скорости рабочего тела в минимальном сечении сопла
- 9. При увеличении площадей критического сечения и выходного сечения сопла в 2 раза...*
- 9.1. Скорость истечения не изменится;
 - 9.2. Отношение давлений в камере сгорания и в выходном сечении сопла не сохранится;

9.3. Разность числа Маха и безразмерной скорости (коэффициента скорости) λ_a в выходном сечении сопла не увеличится;

9.4. Безразмерная скорость λ_a в выходном сечении сопла не увеличится

10. Увеличение площади критического сечения сопла в 2 раза при одновременном уменьшении расхода топлива в 2 раза вызывает...

10.1. Увеличение давления в камере сгорания;

10.2. Снижение плотности рабочего тела в выходном сечении сопла;

10.3. Изменение скорости истечения;

10.4. Изменение скорости рабочего тела в минимальном сечении сопла

**Контрольные вопросы и задачи к разделу
«Расчеты рабочих процессов в элементах и агрегатах
ЖРД»**

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 4

1. По результатам термодинамических расчетов процесса сгорания топлива при постоянном соотношении компонентов с учетом диссоциации сделаны выводы:

1.1. При постоянном соотношении компонентов тяга двигателя в пустоте изменяется почти линейно по отношению к давлению в камере при постоянной геометрической степени расширения сопла.

1.2. С ростом давления в камере для заданной степени расширения газа в сопле при постоянном коэффициенте

избытка окислителя удельный импульс тяги в пустоте возрастает.

1.3. С увеличением давления в камере температура торможения возрастает.

Какие из этих выводов верны?

2. Чем объясняется рост степени диссоциации продуктов сгорания с увеличением температуры путем подвода теплоты?

3. В двигателе малой тяги, работающем на гидразине, суммарная экзотермическая реакция разложения при взаимодействии с катализатором имеет вид: $3 N_2 H_4 = 2 NH_3 + 3 H_2 + 2 N_2$

Рассчитайте парциальные давления образовавшихся газов, если давление в камере разложения равно 10 МПа.

4. Определите теоретически необходимое количество окислителя и k_{m0} для топливной пары “НДМГ[(C₂H₃)₂N₂H₂]+АК-35”, если за 1 секунду сгорает 7 кг НДМГ. Содержанием воды в окислителе пренебречь.

5. Написать систему уравнений для приближенного термодинамического расчета сгорания топлива “жидкий кислород + жидкий водород” при $\alpha = 5,0$ и $p_k = 15$ МПа.

6. По результатам термодинамических расчетов процесса сгорания топлива при постоянном соотношении компонентов с учетом диссоциации сделаны выводы:

6.1. При постоянном соотношении компонентов тяга двигателя в пустоте изменяется линейно по отношению к расходу топлива при постоянной геометрической степени расширения сопла.

6.2. С ростом расхода для заданной степени расширения газа в сопле при постоянном коэффициенте

избытка окислителя удельный импульс тяги в пустоте возрастает.

6.3. С увеличением расхода температура торможения на входе в сопло возрастает.

Какие из этих выводов верны?

7. Чем объясняется снижение степени диссоциации продуктов сгорания при движении по соплу?

8. В двигателе малой тяги, работающем на гидразине, суммарная экзотермическая реакция разложения при взаимодействии с катализатором имеет вид: $N_2 H_4 = 4/3 NH_3 + 1/3 N_2$

Рассчитайте парциальные давления образовавшихся газов, если давление в камере разложения равно 1 МПа.

9. Определите теоретически необходимое количество окислителя и $k_{т0}$ для топливной пары “НДМГ[(C₂H₃)₂N₂H₂]+АК-27”, если за 1 секунду сгорает 7 кг НДМГ. Содержанием воды в окислителе пренебречь.

10. Написать систему уравнений для приближенного термодинамического расчета сгорания топлива “перекись водорода + жидкий кислород” при $\alpha = 0,1$ и $p_k = 15$ МПа

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 5

1. По результатам термодинамических расчетов процесса сгорания топлива при постоянном соотношении компонентов с учетом диссоциации сделаны выводы:

1.1. Тяга двигателя с постоянной геометрической степенью расширения сопла, определенная для соответствующего каждому расходу расчетного режима, изменяется линейно по отношению к расходу

1.2. С ростом расхода для заданной степени расширения газа в сопле удельный импульс тяги в пустоте возрастает.

1.3. С увеличением расхода температура торможения на входе в сопло возрастает.

Какие из этих выводов верны?

2. Чем объясняется снижение степени диссоциации продуктов сгорания при увеличении давления в камере?

3. В двигателе малой тяги, работающем на гидразине, суммарная экзотермическая реакция разложения при взаимодействии с катализатором имеет вид: $3 \text{N}_2\text{H}_4 = 2 \text{NH}_3 + 3 \text{H}_2 + 2 \text{N}_2$

Рассчитайте степень разложения аммиака

4. Определите теоретически необходимое количество окислителя–кислорода и k_{m0} для горючего, представляющего смесь равных по массе частей гидразина и НДМГ $[(\text{C}_2\text{H}_3)_2\text{N}_2\text{H}_2]$, если за 1 секунду сгорает 10 кг НДМГ.

5. Написать систему уравнений для приближенного термодинамического расчета сгорания топлива “азотный тетроксид $[\text{N}_2\text{O}_4]$ + жидкий водород” при $\alpha = 0,1$ и $p_k = 15 \text{ МПа}$

6. По результатам термодинамических расчетов процесса сгорания топлива при постоянном соотношении компонентов с учетом диссоциации сделаны выводы:

6.1. Тяга двигателя с постоянной степенью расширения газа в сопле, определенная для соответствующего каждому давлению расчетного режима, изменяется линейно по отношению к расходу

6.2. С ростом давления для заданной геометрической степени расширения удельный импульс тяги в пустоте возрастает.

6.3. С увеличением давления в камере температура торможения на входе в сопло возрастает.

Какие из этих выводов верны?

7. Чем объясняется рост степени диссоциации продуктов сгорания в камере при дросселировании (уменьшении расхода топлива) идеального ЖРД?

8. В двигателе малой тяги, работающем на гидразине, суммарная экзотермическая реакция разложения при взаимодействии с катализатором имеет вид: $N_2 H_4 = 4/3 NH_3 + 1/3 N_2$

Рассчитайте степень разложения аммиака

9. Определите теоретически необходимое количество окислителя – азотного тетроксида $[N_2O_4]$ для горючего, представляющего смесь равных массовых частей гидразина и НДМГ $[(C_2H_3)_2N_2H_2]$, если за 1 секунду сгорает 7 кг топлива.

10. Написать систему уравнений для приближенного термодинамического расчета сгорания топлива “азотный тетроксид + жидкий водород” при $\alpha = 5,0$ и $p_k = 15$ МПа

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 6

1. По результатам термодинамических расчетов процесса сгорания топлива при постоянном соотношении компонентов с учетом диссоциации сделаны выводы:

1.1. При постоянном давлении в камере удельный импульс тяги в пустоте растет при увеличении геометрической степени расширения сопла.

1.2. С ростом давления в камере для заданной степени расширения газа в сопле температура потока в выходном сечении сопла снижается.

1.3. С увеличением давления в камере работоспособность продуктов сгорания (произведение RT) в выходном сечении камеры сгорания возрастает.

Какие из этих выводов верны?

2. Чем объясняется снижение массового содержания продуктов полного окисления углерода при движении по соплу продуктов сгорания топлива “керосин + кислород”?

3. В двигателе малой тяги, работающем на гидразине, суммарная экзотермическая реакция разложения при взаимодействии с катализатором имеет вид: $3 N_2 H_4 = 2 NH_3 + 3 H_2 + 2 N_2$

Рассчитайте массовые доли образовавшихся газов, если давление в камере разложения равно 1 МПа.

4. Определите теоретически необходимое количество воды как окислителя и k_{m0} для горючего в виде сплава равных частей по весу алюминия и магния, если за 1 секунду сгорает 7 кг горючего.

5. Написать систему уравнений для приближенного термодинамического расчета сгорания топлива “перекись водорода+жидкий водород” при $a = 5,0$ и $p_k = 15$ МПа

6. По результатам термодинамических расчетов процесса сгорания топлива при постоянном соотношении компонентов с учетом диссоциации сделаны выводы:

6.1. Закономерность изменения тяга двигателя в пустоте отклоняется от линейной по отношению к давлению в камере при постоянной геометрической степени расширения сопла.

6.2. Закон изменения пустотного удельного импульса тяги в функции от расхода отличается от линейного при постоянной степени расширения газа в сопле.

6.3. С увеличением расхода топлива кажущаяся молекулярная масса продуктов сгорания на входе в сопло уменьшается.

Обоснуйте правильность или ошибочность каждого из выводов.

7. Чем объясняется рост степени диссоциации продуктов сгорания с приближением к стехиометрическому соотношению компонентов топлива “газообразные водород и кислород при нормальных условиях” увеличением расхода горючего?

8. В двигателе малой тяги, работающем на гидразине, суммарная экзотермическая реакция разложения при взаимодействии с катализатором имеет вид: $3N_2H_4 = 4NH_3 + N_2$

Рассчитайте объемные доли образовавшихся газов, если давление в камере разложения равно 1 МПа.

9. Определите теоретически необходимое количество окислителя –25% (по массе) раствора воды в перекиси водорода – и k_{m0} для горючего –абсолютного этилового спирта, если за 1 секунду сгорает 7 кг горючего.

10. Написать систему уравнений для приближенного термодинамического расчета сгорания топлива “жидкий кислород+жидкий водород” при $\alpha = 0,1$ и $p_k = 15$ МПа.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 7

1. Рассматривается наружное охлаждение ЖРД при постоянных давлении и температуре в камере сгорания, толщине и материале внутренней оболочки камеры. С ростом скорости охладителя (за счет снижения зазора в охлаждающем тракте):

1.1. как изменяется температура стенки со стороны газа?

1.2. как изменяется тепловой поток в стенку?

1.3. как изменяется лучистый тепловой поток в стенку?

1.4. как изменяется нагрев охлаждающей жидкости?

2. Элементарный состав топлива задан условной химической формулой $C_{0,95}H_{3,9}N_{2,49}O_{3,12}$ (молекулярная масса $\mu_T=100$ г/моль). Как изменятся результаты термодинамического расчета, если выполнить расчет для топлива, имеющего состав, записанный формулой $C_{9,5}H_{39}N_{24,9}O_{31,2}$ ($\mu_T=1000$ г/моль)?

3. Керосин задан химической формулой $CH_{1,956}$. Чему равны массовые доли: а) углерода \bar{m}_C ; б) водорода \bar{m}_H ?

4. Записать взаимосвязь стехиометрических массовых и мольных соотношений компонентов.

5. В каких единицах определяется соотношение компонентов двухкомпонентного топлива по формуле

$$\theta_0 = -\frac{\sum b_{iz} \nu_i}{\sum b_{io} \nu_i} ?$$

6. Анализируя зависимость температуры стенки камеры ЖРД со стороны газа $T_{cm.g}$ от ряда факторов при постоянных давлении и температуре продуктов сгорания, а также скорости охлаждающей жидкости в межрубашечном тракте, укажите правильные выводы:

6.1. с ростом коэффициента теплопроводности материала стенки λ величина $T_{cm.g}$ будет уменьшаться (толщина стенки не меняется);

6.2. при этом тепловой поток и подогрев жидкости в охлаждающем тракте увеличивается;

- 6.3. с ростом толщины стенки δ (при $\lambda = \text{const}$) $T_{\text{ст.г}}$ увеличивается;
- 6.4. при этом тепловой поток в стенку уменьшается.
7. Вычислить мольные стехиометрические соотношения компонентов топлива на основе кислорода с горючими: а) водородом H_2 ; б) аммиаком NH_3 ; в) гидразином NH_4 .
8. Напишите формулу для определения коэффициента избытка окислителя α .
9. В каких пределах могут изменяться значения: а) соотношения компонентов топлива k_m ; б) коэффициента избытка окислителя α ?
10. Как следует записать через парциальные давления константу химического равновесия реакции диссоциации $CO_2 \leftrightarrow CO + \frac{1}{2}O_2$?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 8

1. Выполнен поверочный расчет охлаждения камеры ЖРД. Считается, что охлаждение достигается, если (укажите правильные ответы):

1.1. температура стенки камеры со стороны газа меньше допустимой температуры материала по условиям прочности;

1.2. температура жидкости на выходе из тракта охлаждения ниже температуры ее кипения при данном давлении в тракте T_s ;

1.3. температура стенки камеры со стороны жидкости $T_{\text{ст.ж}}$ выше температуры T_s не более $50 \dots 100^\circ\text{C}$;

1.4. температура жидкости в тракте не превышает температуры, при которой компонент разлагается.

2. Определить молекулярную массу на срезе сопла при $p_a = 0,09$ МПа, если парциальные давления газов равны:
 $p_{N_2} = 0,15 \cdot 10^5$ Па; $p_{CO_2} = 0,18 \cdot 10^5$ Па; $p_{CO} = 0,12 \cdot 10^5$ Па;
 $p_{H_2O} = 0,38 \cdot 10^5$ Па; $p_{H_2} = 0,07 \cdot 10^5$ Па.

3. Определить теоретическое значение характеристической скорости c_* продуктов сгорания в камере с давлением $p_{c0} = 100 \cdot 10^5$ Па, если известны $\rho_{кр} = 4,63$ кг/м³ и $w_{кр} = 1200$ м/с.

4. Как следует рассчитывать теоретическое значение коэффициента тяги, по какому выражению следует вычислять скорость истечения продуктов сгорания на срезе сопла?

5. При термодинамическом расчете критического сечения давление $p_{кр}$ заранее неизвестно, поэтому расчет ведется для ряда ориентировочных значений $p_{кри}$ и строится зависимость некоторого параметра от $p_{кр}$. Что это за параметр и как с его помощью находится действительное значение $p_{кр}$?

6. ЖРД переводится с номинального (расчетного) режима работы на минимальный по техническим условиям. Указать неверные выводы:

6.1. Условия охлаждения ЖРД ухудшаются;

6.2. Плотность конвективного теплового потока снижается примерно в степени 0,8 от расхода компонентов;

6.3. Температура жидкости на выходе из тракта охлаждения понизится;

6.4. Температура сгорания топлива при неизменном соотношении компонентов снизится;

6.5. Возможность возникновения пленочного режима кипения охлаждающей жидкости уменьшается.

7. *Чем определяется и от каких факторов зависит величина лучистого теплового потока?*

8. *Чем обусловлено возникновение «пика давления» при запуске ЖРД?*

9. *Определить плотность топлива H_2+O_2 при $\alpha = 0,7$.*

10. *Почему с ростом α топлива H_2+O_2 газовая постоянная продуктов сгорания уменьшается?*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дорофеев А.А. Основы теории тепловых ракетных двигателей. Общая теория ракетных двигателей/ А.А. Дорофеев. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. Электронный ресурс.
2. Методическая разработка к рубежному контролю по курсу «Общая теория двигателей летательных аппаратов» / под ред. В.Д. Курпатенкова. - М. : Изд-во МАИ, 1983. - 32 с.
3. Задачи термодинамического расчета горения топлив и истечения продуктов сгорания: учеб. пособ. для практич. занятий и семинаров / под ред. В.Д. Курпатенкова. - М. : Изд-во МАИ, 1993. - 49 с.
4. Сборник задач по основам теории и расчета ДЛА: учеб. пособие / А.А. Дорофеев, Н.И. Леонтьев, А.В. Сухов, В.А. Чернухин. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1990. 67 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	
Задания входного контроля знаний студентов по результатам изучения дисциплины в первом семестре	2
Контрольные вопросы к разделу «Основы теории и устройства РД»	3
Практическое задание 1	4
Практическое задание 2	7
Практическое задание 3	10
Контрольные вопросы и задачи к разделу «Расчеты рабочих процессов в элементах и агрегатах ЖРД»	13
Практическое задание 4	13
Практическое задание 5	15
Практическое задание 6	17
Практическое задание 7	19
Практическое задание 8	21
Библиографический список	24

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для выполнения практических и самостоятельных работ по дисциплине «Теория и расчет ЖРД» для студентов специальности 160700.65, 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» очной формы обучения.

Составители: Горохов Виктор Дмитриевич
Дроздов Игорь Геннадьевич
Кренин Александр Валентинович

В авторской редакции

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»
394026 Воронеж, Московский пр., 14