

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



«Утверждаю»

Проректор по УМР

Л.О. Штриплинг

03 2017 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине

Основы теории жидкостных ракетных двигателей

24.05.02 – Проектирование авиационных и ракетных двигателей

Разработана в соответствии с ООП по направлению подготовки: 24.05.02 – «Проектирование авиационных и ракетных двигателей».

Специализация – «Проектирование жидкостных ракетных двигателей».

Программу составила:

доцент кафедры «Авиа- и ракетостроение»,

к.т.н., доцент

Л.И. Гречух

Обсуждена на заседании кафедры

«Авиа- и ракетостроение», протокол № 8 от 27 марта 2017 г.

Зав. кафедрой «Авиа- и ракетостроение»

к.т.н., доцент

«27» 03

А.Б. Яковлев

2017 г.

Руководитель ООП

Зав. кафедрой «Авиа- и ракетостроение»

к.т.н., доцент

«27» 03

А.Б. Яковлев

2017 г.

1. Цели и задачи дисциплины

Цели дисциплины. Целью преподавания дисциплины «Основы теории жидкостных ракетных двигателей» является формирование у студентов знаний, являющихся основой в области проектирования и конструирования жидкостных ракетных двигателей.

Основные задачи дисциплины

- 1) Обучить студента основам теории и проектирования жидкостных ракетных двигателей (ЖРД).
- 2) Изучить наиболее важные узлы конструкции ЖРД, принцип действия, классификацию ЖРД, область применения.
- 3) Получить сведения об основных ракетных топливах и их характеристиках.
- 4) Овладеть инженерными методами расчета отдельных элементов и узлов ЖРД.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Основы теории жидкостных ракетных двигателей» относится к дисциплинам специализации базовой части блока дисциплин.

Студент, изучающий дисциплину «Основы теории жидкостных ракетных двигателей», должен знать основные законы и понятия, изучаемые в дисциплинах: «Математика», «Физика», «Химия», «Механика жидкости газа», «Термодинамика и теплопередача», «Основы устройства и проектирования ракет».

Дисциплины, изучаемые одновременно: «Основы теории полета», «Пневмогидросистемы и автоматика летательных аппаратов», «Топлива и рабочие процессы в авиационных и ракетных двигателях», «Прикладные методы расчета конструкций ракетно-космической техники».

Последующие дисциплины: «Теория и расчет жидкостных ракетных двигателей», «Теория и проектирование турбонасосных агрегатов», «Испытания и обеспечение надежности ракетно-космической техники», «Автоматика и регулирование ракетных двигателей», «Динамика и прочность ракетных двигателей».

3. Требования к результатам освоения дисциплины

3.1. В результате освоения дисциплины «Основы теории жидкостных ракетных двигателей» должны быть сформированы следующие компетенции:

Шифр направления	Формируемая компетенция
24.05.02	способностью принимать участие в работах по расчету и конструированию отдельных деталей и узлов двигателей и энергетических установок ЛА в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации проектирования (ПК-1)
	способностью выполнять расчеты статических и динамических характеристик рабочего процесса ЖРД, их узлов и элементов (ПСК-3.2)

3.2. В результате освоения дисциплины студент должен демонстрировать освоение указанными компетенциями по дескрипторам «знания, умения, владения», соответствующие тематическим модулям дисциплины, и применимые в их последующем обучении и профессиональной деятельности:

Знать:

- 3.1.** Основы расчета и конструирования отдельных деталей и узлов двигателей и энергетических установок ЛА;
- 3.2.** Основы расчета статических и динамических характеристик рабочего процесса ЖРД, их узлов и элементов.

Уметь:

- У.1.** Рассчитывать и конструировать отдельные детали и узлы двигателей и энергетических установок ЛА с использованием стандартных средств автоматизации проектирования;
- У.2.** Выполнять расчеты статических и динамических характеристик рабочего процесса ЖРД, их узлов и элементов.

Владеть:

- В.1.** Навыками расчета и конструирования отдельных деталей и узлов двигателей и энергетических установок ЛА с использованием стандартных средств автоматизации проектирования;
- В.2.** Навыками расчета статических и динамических характеристик рабочего процесса ЖРД, их узлов и элементов.

3.3. Проектируемые результаты и признаки формирования компетенций*Компетентностная модель дисциплины*

Индекс компетенции	Проектируемые результаты освоения дисциплины «Основы теории жидкостных ракетных двигателей» и индикаторы формирования компетенций			Средства и технологии оценки	Технологии формирования компетенции
	Знания (З)	Умения (У)	Навыки (В)		
ПК-1	3.1	У.1	В.1	1, 2, 3, 4, 5	1, 2, 3
ПСК-3.2	3.2	У.2	В.2	1, 2, 3, 4, 5	1, 2, 3

Средства и технологии оценки: 1 – Экзамен, 2 – Отчет по лабораторным работам, 3 – Отчет по практическим занятиям, 4 – Устный опрос, 5 – РГР

Технологии формирования компетенции: 1 – Информационно-развивающие технологии, 2 - Развивающие проблемно-ориентированные технологии, 3 – Личностно ориентированные технологии обучения

4. Объем дисциплины и виды учебной работы в часах и зачетных единицах*Очная форма обучения*

Вид занятий	Всего час/ зач. ед.	Семестры			
		5	6	7	8
Всего аудиторных занятий:	72			72	
Лекции	36			36	
Практические занятия	18			18	
Лабораторные занятия	18			18	
Самостоятельная работа:	108			108	

Самостоятельное изучение материала дисциплины и подготовка к аудиторным занятиям	88			88	
Расчетно-графическая работа	20			20	
Количество часов на экзамен	36			36	
Всего по дисциплине	216/6			216	
Вид аттестации за семестр	Экз.			Экз.	

5. Содержание разделов дисциплины по видам учебных занятий

5.1. Содержание дисциплины по модулям

1. Основные конструктивные параметры и характеристики ЖРД.
2. Двигательная установка с ЖРД, и особенности конструкции КС ЖРД.

Содержание модулей	Форма обучения
	очная Кол часов Лек/СРС
Модуль 1. Основные конструктивные параметры и характеристики ЖРД	
Основные составляющие двигательной установки (ДУ). Назначения отдельных элементов ДУ Совершенство ЖРД. Способы изменения направления вектора тяги ДУ. Порядок проектирования ЖРД.	2/6
Основные параметры ЖРД. Изменение основных параметров ЖРД по характерным сечениям КС. Пути повышения тяги двигателя. Основные соотношения общей теории ЖРД (удельная масса ДУ, расходный комплекс, тяговый комплекс, расходонапряженность КС).	2/4
Стехиометрическое соотношение компонентов топлива. Коэффициент избытка окислителя. Импульс последствия и борьба с ним.	2/6
Типы сопел ЖРД. Основные требования к соплам ЖРД. Сравнение сопел различных типов.	2/5
Потери удельного импульса тяги в сопле ЖРД. Режимы работы сопла. Оптимальный режим работы сопла. Работа сопла на нерасчетных режимах при больших противодавлениях.	2/5
Проектирование сопла (докритической части, закритической части). Приближенный расчет габаритов соплового блока (однокамерной, многокамерной ДУ). Влияние давления в КС на параметры ЖРД. Рекомендации к выбору давления в КС.	2/5
Топлива ЖРД: унитарные и трёхкомпонентные.	2/5
Двухкомпонентные топлива ЖРД: классификация, основные требования к топливам, основные топливные композиции.	2/5
Классификация ЖРД. Применение ЖРД.	2/4
Характеристики ЖРД (расходная, высотная). Системы коэффициентов для оценки качества протекания процессов в ЖРД.	2/5
Регулирование тяги двигателя путём изменения расхода топлива КС. Основные блоки КС. Испытания КС ЖРД (опрессовка, пневмогидроиспытания, проливка).	2/5

Модуль 2. Двигательная установка с ЖРД, и особенности конструкции КС ЖРД	
Режимы работы двигателя (предварительной, главной, конечной ступени). Автоколебания в ЖРД (вибрационное горение).	2/5
Формы КС ЖРД. Способы соединения основных технологических блоков камеры сгорания ЖРД.	2/4
Классификация КС по применяемым материалам. Размещение узлов крепления на КС. Способы крепления КС на ракете для неподвижных и отклоняемых КС (шарнирный, карданный подвес).	2/4
Однокамерные и многокамерные двигательные установки: проблема создания двигателей большой тяги, выбор числа двигателей ДУ, компоновочные схемы ДУ с учетом числа двигателей в ДУ. Схемы размещения ТНА в ДУ.	2/5
Системы подачи топлива. Основные схемы двигателя с насосной подачей топлива (открытая, закрытая, область применения).	2/5
Типы газогенераторов. Общие рекомендации к проектированию ЖГГ.	2/5
Основные стадии процессов смесеобразования и горения топлив в КС ЖРД.	2/5

Итого 36/88

5.2. Содержание практических занятий

Основные цели: привитие студентам навыков в решении задач проектирования с использованием справочной литературы, специальных атласов и таблиц; подготовка студентов к самостоятельному выполнению расчетов в курсовом проектировании, в подготовке выпускной квалификационной работы.

Содержание практических занятий	Часы
Модуль 1. Основные конструктивные параметры и характеристики ЖРД	
<i>Практическое занятие 1.</i> Приближенное проектирование КС	2
<i>Практическое занятие 2.</i> Построение профиля сопла методом двух дуг.	2
<i>Практическое занятие 3.</i> Расчет межрубашечного зазора КС.	2
<i>Практическое занятие 4.</i> Расчет межрубашечного зазора КС.	2
<i>Практическое занятие 5.</i> Расчет жидкостного газогенератора ЖРД	2
<i>Практическое занятие 6.</i> Расчет жидкостного газогенератора ЖРД	2
<i>Практическое занятие 7.</i> Определение коэффициента избытка окислителя	2
<i>Практическое занятие 8.</i> Проектирование входной (докритической) части и горловины сопла.	2
<i>Практическое занятие 9.</i> Расчет коллектора подвода охладителя камеры сгорания ЖРД.	2

Итого 18

5.3. Содержание лабораторных занятий

Основные цели: изучить конструкцию, устройство, принцип работы основных агрегатов и узлов ракетных двигателей; привить студентам навыки в использовании справочной литературы и

атласов; подготовить студентов к самостоятельному выбору конструктивных решений в курсовом проектировании, в подготовке выпускной квалификационной работы.

Содержание лабораторных занятий	Часы
Модуль 2. Двигательная установка с ЖРД, и особенности конструкции КС ЖРД	
<i>Лабораторная работа 1.</i> Двигатель (Изд. № 1): изучение конструкции.	2
<i>Лабораторная работа 2.</i> Двигатель (Изд. № 2,3): изучение конструкции.	2
<i>Лабораторная работа 3.</i> Газогенераторы: изучение работы и конструкции ЖГГ.	2
<i>Лабораторная работа 4.</i> Системы подачи топлива: общие сведения, изучение конструкции.	2
<i>Лабораторная работа 5.</i> Запуск и останов двигателя, раскрутка ТНА.	2
Модуль 1. Основные конструктивные параметры и характеристики ЖРД	
<i>Лабораторная работа 6.</i> Определение параметров ЖРД с помощью справочника Глушко.	2
Модуль 2. Двигательная установка с ЖРД, и особенности конструкции КС ЖРД	
<i>Лабораторная работа 7.</i> Подбор и изучение конструкции прототипа проектируемого двигателя.	2
<i>Лабораторная работа 8.</i> Определение массы проектируемого двигателя.	2
Модуль 1. Основные конструктивные параметры и характеристики ЖРД	
<i>Лабораторная работа 9.</i> Составление полной характеристики и изучение свойств топливной пары проектируемого двигателя.	2

Итого 18

6. Образовательные технологии

6.1. Для достижения планируемых результатов освоения дисциплины «Основы теории жидкостных ракетных двигателей» используются следующие образовательные технологии:

1. Информационно-развивающие технологии.
2. Развивающие проблемно-ориентированные технологии.
3. Личностно ориентированные технологии обучения.

Методы	Лекция	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС
Метод ИТ	+	+	+	+
Работа в команде		+	+	+
Case-study		+	+	
Проблемное обучение	+	+		
Контекстное обучение	+	+	+	+
Обучение на основе опыта	+	+	+	+
Индивидуальное обучение		+		+
Междисциплинарное обучение	+	+	+	+
Опережающая самостоятельная работа		+	+	+

6.2. Интерактивные формы обучения (в соответствии с положением П ОмГТУ 75.03-2012. «Об использовании в образовательном процессе активных и интерактивных форм проведения учебных занятий»)

№	Модуль	Применяемые технологии интерактивного обучения	Кол-во часов
1	Модуль 1, 2	Лекции Проблемное обучение, метод ИТ	8
2	Модуль 1, 2	Лабораторные работы. Работа в команде (малых группах) СРС. Опережающая самостоятельная работа	2 2
3	Модуль 1	Практические занятия. Case – Study СРС. Выполнение КР. Метод проектов.	2 2
Итого			16

Примечание. Объем часов занятий в интерактивной форме обучения (согласно П ОмГТУ 75.03-2012) должен составлять (20..40 %) от объема часов аудиторных занятий.

7. Самостоятельная работа студентов

Самостоятельная работа направлена на закрепление и углубление полученных теоретических и практических знаний, развитие навыков практической работы.

7.1. Объем СРС и распределение по видам учебных работ в часах

№	Вид СРС	Кол-во часов ⁷
1	Работа с лекционным материалом, самостоятельное изучение отдельных тем дисциплины; поиск и обзор литературы и электронных источников; чтение и изучение учебников и учебных пособий.	52
2	Подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам	36
3	Выполнение расчетно-графической работы	20
Итого		108

⁷ Обоснование трудоемкости на выполнение СРС произведено на основании рекомендаций учебника «Управление факультетом» под ред. С.Д. Резника. – М.: ИНФРА-М, 2010. – 695 с.

7.2. Расчетно-графическая работа, её характеристика. Задача расчетно-графической работы состоит в развитии практических навыков в проектировании отдельных узлов жидкостного ракетного двигателя. Расчетно-графическая работа состоит из расчетной части объемом 15 – 20 листов.

Тема расчетно-графической работы. Проектирование камеры сгорания ЖРД.

8. Методическое обеспечение системы оценки качества освоения программы дисциплины

К промежуточной аттестации студентов по дисциплине «Основы теории жидкостных ракетных двигателей» могут привлекаться в качестве внешних экспертов: представители работодателей.

8.1. Фонды оценочных средств (в соответствии с П ОмГТУ 73.05 «О фонде оценочных средств по дисциплине»)

Фонд оценочных средств позволяет оценить знания, умения и уровень приобретенных компетенций. Фонд оценочных средств по дисциплине включает:

- экзаменационные вопросы;
- вопросы и задания для практических занятий;
- вопросы для защиты лабораторных работ;
- варианты расчетно-графической работы;
- вопросы к защите расчетно-графической работы;
- задания для проведения занятий в интерактивной форме.

Оценка качества освоения программы дисциплины включает текущий контроль успеваемости, промежуточную аттестацию, итоговую аттестацию в форме экзамена.

Студентам предоставлена возможность оценивания содержания, организации и качества учебного процесса.

8.2. Контрольные вопросы по дисциплине

Модуль 1

1. Назовите основные узлы и агрегаты, входящие в состав ЖРД и их назначение.
2. Назовите показатели совершенства ЖРД.
3. Перечислите способы изменения направления вектора тяги ДУ.
4. Запишите формулу тяги ракетного двигателя и размерность тяги.
5. Назовите основные параметры ЖРД и размерность этих параметров.
6. В каком сечении КС ЖРД температура горения топлива имеет максимальное значение?
7. Какие параметры ЖРД позволяют значительно повышать тягу двигателя?
8. Дайте определение параметру «расходонапряженность КС ЖРД».
9. Что характеризует собой расходный комплекс β ?
10. Дать определение «удельной массы двигателя».
11. Чему равняется коэффициент избытка окислителя для случая стехиометрического соотношения компонентов топлива?
12. Что значит «оптимальное» значение коэффициента избытка окислителя?
13. Запишите формулу, по которой определяется соотношение компонентов топлива ЖРД.
14. Дайте определение импульсу последствия.
15. Какими мероприятиями можно уменьшать величину импульса последствия?
16. Перечислите типы сопел ЖРД.
17. Назовите основные требования к соплам ЖРД.
18. Дайте сравнительную характеристику сопел различных типов.
19. Назовите основные виды потерь удельного импульса тяги в сопле.
20. Назовите основные режимы работы сопла.
21. Какой режим работы сопла ЖРД называют расчетным?
22. Что происходит в работе сопла на нерасчетных режимах при больших противодавлениях?
23. Сравните по величине удельный импульс тяги ракетного двигателя на земле и в пустоте.
24. Охарактеризуйте два способа профилирования докритической части сопла.
25. Какие виды профиля закритической части сопла вы знаете?

26. Каким образом влияет давление в КС на параметры ЖРД?
27. Какое топливо называется унитарным?
28. Назовите основные недостатки трехкомпонентных топлив.
29. Назовите четыре основные топливные композиции для двухкомпонентных топлив.
30. Приведите примеры топливных пар, которые относятся к самовоспламеняющимся топливам.
31. Приведите примеры топливных пар, которые относятся к несамовоспламеняющимся топливам.
32. Назовите основные требования, предъявляемые к жидким ракетным топливам.
33. Назовите область применения вытеснительной системы подачи топлива в КС.
34. Назовите основные окислители жидких ракетных топлив.
35. Назовите основные горючие жидких ракетных топлив.
36. Дайте определение расходной характеристики.
37. Дайте определение высотной характеристики.
38. Какими коэффициентами определяются потери удельного импульса КС ЖРД?
39. Назовите основные способы регулирования тяги ЖРД путем изменения расхода топлива.
40. Как проводится опрессовка КС ЖРД?
41. Как проводятся гидроиспытания ЖРД?
42. Как проводится проливка ЖРД?

Модуль 2

1. Назовите основные режимы работы ЖРД.
2. Дать определение режиму автоколебаний в ЖРД.
3. Чем опасен режим автоколебаний ЖРД?
4. Что такое вибрационное горение в ЖРД?
5. Перечислите основные формы КС ЖРД.
6. Назовите основные технологические блоки КС ЖРД.
7. Каким способом соединяют отдельные блоки КС ЖРД?
8. Какие материалы применяют для наружной и внутренней стенок КС ЖРД?
9. Назвать основные требования при выборе числа двигателей ДУ.
10. Достоинства и недостатки многокамерной ДУ.
11. Основные виды систем подачи топлива.
12. Область применения различных систем подачи топлива.
13. Дайте определение понятиям: двигатель «без дожигания» и «с дожиганием».
14. В каких сечениях КС обычно размещают узлы крепления её к силовым элементам ракеты?
15. Дайте понятие о шарнирном подвесе КС, достоинстве этого метода крепления.
16. Дайте понятие о карданном подвесе КС, применении этого метода крепления.
17. Изобразите схемы закрепления четырехкамерного двигателя на ракете.
18. Назовите основные проблемы создания двигателей большой тяги.
19. Перечислите основные схемы размещения ТНА в ДУ и область их применения.
20. Приведите классификацию газогенераторов ЖРД.
21. Чем отличается ЖГГ от ЖРД?
22. Перечислите основные стадии процессов смесеобразования и горения топлив в КС ЖРД.

9. Ресурсное обеспечение дисциплины

9.1. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Лаборатория «Ракеты и ракетные двигатели». Макеты изделий 8К64, 8К84. Наглядные пособия: двигатели 3 шт., РД8, Д419, турбонасосный агрегат, экспонаты ЖРД, элементы автоматики подачи топлива. Мультимедийное оборудование: проектор, ноутбук, экран (ауд. 3-215).
2. Кафедральный компьютерный класс, 10 ПК на базе процессора Intel Pentium IV (ауд. 3-307).
3. Ракетные двигатели: Изд. № 1, 2, 3, 4.

9.2. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

9.2.1. Основная литература

9.2.1. Основная литература

1. Зеленцов В.В. Основы баллистического проектирования искусственных спутников Земли: учеб. пособие для вузов по специальности «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов» / В.В. Зеленцов, В.П. Казаковцев. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 174 с.
2. Дорофеев А.А. Основы теории тепловых ракетных двигателей. Теория, расчет и проектирование: учеб. для вузов по специальности "Авиа- и ракетостроение"/А. А. Дорофеев. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. - 463с.

9.2.2. Дополнительная литература

1. Конструкция, работа и проектирование жидкостного газогенератора ЖРД: метод. указания к курсовому и диплом. проектированию / сост.: Л. И. Гречух, И. Н. Гречух. - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2009. - 38с.
2. Проектирование жидкостного ракетного двигателя: метод. указания к курсовому и диплом. проектированию/сост.: Л.И. Гречух, И.Н. Гречух - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2011.-66с., (87 + ЭБС).
3. Расчет на прочность ракетных конструкций: учеб. пособие / И.Н. Гречух, И.Л. Гречух. - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2008.-148 с.
4. Дипломное проектирование [Электронный ресурс]: метод. указания / сост.: Л. И. Гречух, И. Н. Гречух. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2015.

9.2.3. Периодические издания

1. Авиация и космонавтика вчера, сегодня, завтра. 2006 – 2017
2. Авиационные и ракетные двигатели: ЭРЖ. 1997-2014
3. Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 1993 – 2017
4. Новости космонавтики.2005 – 2017
5. Полет. 2005 – 2017
6. Омский научный вестник. Серия. Приборы, машины и технологии. 2006 – 2017
7. Ракетостроение: ЭРЖ. 1977-1980
8. Ракетостроение и космическая техника: ЭРЖ. 1997-2016

9.2.4. Информационные ресурсы

1. ЭБС «АРБУЗ»
2. Научная электронная библиотека elibrary.ru

- 3. Интегрум
- 4. SPRINGER

К.О.

Согласованно:

Библиотека ОмГТУ

И.И. / П.П. / Ю.Ю.

(штамп КО и подпись зам. директора библиотеки)