

М

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

«Утверждаю»

Проректор по УМР



Л. О. Штриплинг

23 2017 год

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине

«Автоматика и регулирование ракетных двигателей»

направление подготовки специалистов

24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей

Разработана в соответствии с ООП по направлению подготовки специалистов 24.05.02
Проектирование авиационных и ракетных двигателей.


Программу составил:

к.т.н., доцент


_____ А.Б. Яковлев


Обсуждена на заседании кафедры «Авиа- и ракетостроение» (протокол № 8 от
27.03.2017 г.)

Заведующий кафедрой «Авиа- и ракетостроение»,
к.т.н., доцент


_____ А.Б. Яковлев
«27» 03 2017 г.

Согласовано:

Руководитель ООП,
заведующий кафедрой «Авиа- и ракетостроение»,
к.т.н., доцент


_____ А.Б. Яковлев
«27» 03 2017 г.

1. Цели и задачи дисциплины

Дисциплина «**Автоматика и регулирование ракетных двигателей**» является курсом базовой части Блока 1 профессиональной подготовки инженера по специальности 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей.

Цель дисциплины - познакомить будущего специалиста с важнейшими теоретическими основами, необходимыми для творческого решения практических задач по созданию систем автоматического управления (САУ) двигателей летательных аппаратов (ДЛА).

Задачами дисциплины являются: изучение конструкции агрегатов автоматики и САУ летательного аппарата (ЛА) с жидкостной ракетной двигательной установкой (ЖРДУ), отдельных подсистем и системы управления ЖРДУ в целом, а также процессов, происходящих в них; статических и динамических свойств элементов и систем ЖРДУ, методов исследования устойчивости и качества переходных процессов двигательных установок.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «**Автоматика и регулирование ракетных двигателей**» входит в базовую часть Блока 1 (Б1) структуры программы специалитета, является дисциплиной специализации и расширяет и дополняет подготовку по дисциплинам базовой части Блока Б1 и служит, в том числе, для дальнейшего изучения основных дисциплин вариативной части блока Б.1.

Студент, начинающий изучение дисциплины, должен знать базовые математические и общепрофессиональные дисциплины ООП по направлению подготовки специалитета 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей.

Предшествующие дисциплины: «Высшая математика», «Физика», «Механика жидкости и газа», «Гидропривод летательных аппаратов», «Топлива и рабочие процессы в авиационных и ракетных двигателях», «Основы теории жидкостных ракетных двигателей», «Пневмогидросистемы и автоматика летательных аппаратов», «Теория и расчет жидкостных ракетных двигателей», «Теория и элементы систем управления летательных аппаратов», «Теория и проектирование турбонасосных агрегатов».

Дисциплины, изучаемые одновременно: «Энергетические машины и установки», «Динамика и прочность ракетных двигателей», «Основы проектирования, конструирования и производства космических аппаратов», «Теория, расчет и проектирование воздушно-реактивных двигателей», «Ракеты с ракетными двигателями твердого топлива».

Последующие дисциплины: дисциплина 10 семестра, не предусмотрено.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

3.1. В результате освоения дисциплины «**Автоматика и регулирование 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:

З.1. основные явления, физическую сущность и закономерности процессов, происходящих в этих системах;

З.2. устройство, состав, классификацию и основы проектирования САУ ЖРДУ и их основных агрегатов;

З.3. закономерности рабочего процесса и характеристики САУ ЖРДУ, основные понятия и законы, описывающие статику и динамику основных элементов двигательной установки;

З.4. основные понятия и методы математического анализа, математические модели простейших систем и процессов в САУ, необходимые методы расчета в рамках построенной модели;

уметь:

У.1. работать с научно-технической и справочной литературой;

У.2. использовать теоретические знания для решения задач, возникающих при проектировании САУ ДЛА;

У.3. составлять описания принципов устройства и действия САУ и их основных элементов;

У.4. давать рекомендации и технические предложения по совершенствованию конструкций САУ ДЛА и их основных узлов и агрегатов;

У.5. уметь составлять уравнения статики и динамики основных элементов САУ и системы в целом;

владеть:

В.1. способностью разрабатывать системы автоматического управления ЖРДУ;

В.2. навыками исследования физических и математических моделей с учетом их иерархической структуры и оценкой пределов применимости полученных результатов;

В.3. навыками исследования, аналитического и численного решения основных уравнений, описывающих математические модели САУ;

В.4. способностью рассчитывать динамические характеристики САУ ДЛА.

3.3. Проектируемые результаты и признаки формирования компетенций

Компетентностная модель дисциплины

Индекс компетенции	Проектируемые результаты освоения дисциплины «Автоматика и регулирование ракетных двигателей» и индикаторы формирования компетенций			Средства и технологии оценки	Технологии формирования компетенции
	Знания (З)	Умения (У)	Владения (В)		
ПК-1	З.1, З.2	У.1, У.2, У.3	В.1, В.2	Отчеты по лабораторным работам, отчеты по практическим занятиям, устный опрос, РГР, экзамен	1, 2, 3, 4, 5
ПСК-3.2	З.3, З.4	У.4, У.5	В.3, В.4	Отчеты по лабораторным работам, отчеты по практическим занятиям, устный опрос, РГР, экзамен	1, 2, 3, 4, 5

Технологии формирования компетенции:

- 1 – лекционно-семинарский метод
- 2 – самостоятельное изучение литературы
- 3 – применение информационных технологий
- 4 – использование электронных средств информации
- 5 – анализ конкретных производственных ситуаций

4. Объем дисциплины и виды учебной работы в часах и зачетных единицах

Очная форма обучения

Вид занятий	Всего (час. / зач. ед.)	семестры												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Всего аудиторных занятий:	72												72	
Лекции	36												36	
Практические занятия	18												18	
Лабораторные работы	18												18	
Самостоятельная работа:	72												72	
Самостоятельная работа студента														
Самостоятельное изучение материала дисциплины и подготовка к зачетам	52												52	
Курсовая работа (проект)														
Расчетно-графическая работа	20												20	
Домашнее задание														
Количество часов на экзамен	36												36	
Всего по дисциплине	180 / 5												180	
Вид аттестации за семестр (зачет, дифференцированный зачет, экзамен)	Экз												экз	

5. Содержание дисциплины по модулям и видам учебных занятий

5.1. Содержание дисциплины по модулям

1. Принципы построения систем автоматического управления ракетными двигательными установками.

2. Статика жидкостных ракетных двигательных установок.

3. Динамика жидкостных ракетных двигательных установок.

	Содержание модулей	Форма обучения
		очная
		Кол-во часов (лек/СРС)
1	Модуль 1. Принципы построения систем автоматического управления ракетными двигательными установками	6 / 6
	Основные понятия теории автоматического управления РДУ. Особенности управления РДУ. Классификация систем автоматического управления.	1 / 2
	Обыкновенные САУ Разомкнутые системы: разомкнутая система программного управления,	2 / 2

	разомкнутая система с компенсацией воздействия внешних возмущений. Замкнутые системы: стабилизирующие замкнутые САУ, замкнутые системы программного регулирования, следящие замкнутые САУ.	
	Самонастраивающиеся системы: система экстремального управления, системы с самонастраивающимися корректирующими контурами; САУ с автоматическим поиском оптимальных режимов работы. Игровые САУ	3 / 2
2	Модуль 2. Статика жидкостных ракетных двигательных установок	16 / 24
	Статика жидкостных ракетных двигательных установок. Основные понятия о статических характеристиках.	2 / 4
	Статические характеристики элементов двигателей: камеры сгорания, смесительной головки камеры, тракта охлаждения камеры, магистралей топливоподачи, насосов и турбины, газогенератора, магистрали компонента унитарного топлива, дросселя регулятора тяги и системы наддува бака.	8 / 10
	Статическая характеристика двигательной установки.	4 / 6
	Метод малых отклонений в теории автоматического регулирования. Влияние внешних возмущений на статические характеристики. Выбор регулируемых величин.	2 / 4
3	Модуль 3. Динамика жидкостных ракетных двигательных установок	14 / 22
	Динамика двигательной установки. Основные понятия о динамических характеристиках РДУ.	2 / 4
	Уравнения динамики элементов двигательной установки: камеры сгорания ЖРД, форсуночной смесительной головки, трубопроводов и тракта охлаждения, насосного агрегата, роторной части турбонасосного агрегата, газогенератора, управляющего элемента.	8 / 10
	Уравнение динамики двигательной установки.	2 / 4
	Оценка качества переходных процессов. Устойчивость линейных систем автоматического регулирования РДУ.	2 / 4
	ИТОГО часов	36 / 52

5.2. Содержание практических и лабораторных занятий

5.2.1. Содержание практических занятий

Цель практических занятий – закрепление теоретического материала дисциплины, овладение методами решения задач.

	Содержание курса практических занятий	Часы
		Очная
3	Модуль 3. Динамика жидкостных ракетных двигательных установок	18
	Динамические характеристики системы с регулятором прямого действия.	6
	Динамические характеристики системы с интегрирующим регулятором.	4
	Динамические характеристики системы с регулятором, имеющим инерционный усилитель.	4
	Динамические характеристики системы с изодромным регулятором.	4
	ИТОГО	18

5.2.2. Содержание лабораторных работ

Цель лабораторного практикума - ознакомить студентов с современными методами измерения; привить студентам практические навыки по методикам экспериментальных

исследований и обработки опытных данных; помочь им в усвоении отдельных теоретических разделов курса.

	Содержание лабораторного практикума	Часы
		Очная
2	Модуль 2. Статика жидкостных ракетных двигательных установок	18
	Конструкция и статическая характеристика системы с регулятором прямого действия.	6
	Конструкция и статическая характеристика системы с интегрирующим регулятором.	4
	Конструкция и статическая характеристика системы с регулятором, имеющим инерционный усилитель.	4
	Конструкция и статическая характеристика системы с изодромным регулятором.	4
	ИТОГО	18

6. Образовательные технологии

6.1. Для достижения планируемых результатов освоения дисциплины «**Автоматика и регулирование ракетных двигателей**» используются следующие образовательные технологии:

Методы	Лекция	Лабораторные работы	Практические занятия	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»)

№	Семестр, модуль	Применяемые технологии интерактивного обучения	Кол-во аудиторных часов
1	Семестр 10 Модуль 1, 2, 3	Лекции Проблемное обучение	6
	Семестр 10 Модуль 1, 2, 3	Лабораторные работы Работа в команде, опережающая самостоятельная работа	2
2	Семестр 10 Модуль 1, 2, 3	Практические занятия Метод ИТ, работа в команде, Case-study	2

3	Семестр 10 Модуль 1, 2, 3	СРС Опережающая самостоятельная работа, индивидуальное обучение	4
ИТОГО			16

Примечание: Объем часов занятий в интерактивной форме обучения (согласно П ОмГТУ 75.03-2012) должно 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	Количество часов*											
	семестры											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1. Самостоятельное изучение отдельных тем дисциплины; поиск и обзор литературы и электронных источников; чтение и изучение учебника и учебных пособий.											34	
2. Подготовка к практическим занятиям											9	
3. Подготовка к лабораторным работам											9	
4. Выполнение РГР											20	
Всего											72	
ИТОГО по дисциплине	72											

* - Распределение часов на выполнение СРС проведено на основе личного опыта преподавателя и рекомендаций учебника «Управление факультетом». – С. 236 – 237. (Под. Ред. С. Д. Резника. – М.: ИНФРА-М, 2008. – 696 с.).

7.2. Расчетно-графическая работа по модулям

Расчетно-графическая работа (РГР) направлена на закрепление лекционного материала.

Цель расчетно-графической работы – формирование у студентов навыков самостоятельного конструирования и расчета систем автоматического регулирования РДУ. *Задачи* расчетно-графической работы:

1) освоить методы расчета САУ ДЛА.

2) разработать схему САУ ДЛА и оценить качество регулирования. В случае недостаточных запасов устойчивости по амплитуде и фазе скорректировать динамические свойства САУ, введя корректирующее устройство.

Расчетно-графическая работа предусматривает возможность проведения расчетов на ЭВМ и проектирование альтернативного варианта, отличного от базового и имеющего достаточные запасы устойчивости.

Расчетная часть расчетно-графической работы включает четыре раздела:

- разработка и описание схемы САУ ДЛА;
- расчет основных параметров САУ, определяющих качество регулирования;
- расчет САУ на устойчивость;
- коррекция динамических свойств САУ.

Графическая часть расчетно-графической работы должна состоять из одного листа формата А1 и содержать:

- разработанную схему системы автоматического управления;
- построенные АФЧХ базовой и скорректированной САУ.

Модули 1, 3.

1. Анализ устойчивости одноконтурной САР (электромеханической следящей системы), используя критерии Гурвица, Михайлова, Найквиста и с применением логарифмических частотных характеристик.

2. Коррекция динамических свойств систем автоматического управления.

8. Методическое обеспечение системы оценки качества освоения программы дисциплины

К промежуточной аттестации студентов по дисциплине «**Автоматика и регулирование ракетных двигателей**» могут привлекаться в качестве внешних экспертов: представители работодателя, преподаватели выпускающей кафедры, научные руководители магистрантов, руководитель ООП.

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, владение и уровень приобретенных компетенций.

Фонд оценочных средств по дисциплине «**Автоматика и регулирование ракетных двигателей**» включает:

- контрольные вопросы к экзамену;
- варианты РГР;
- вопросы для защиты лабораторных работ;
- вопросы и задания для практических занятий;
- вопросы текущего контроля.

Оценка качества освоения программы дисциплины «**Автоматика и регулирование ракетных двигателей**» включает текущий контроль успеваемости, промежуточную аттестацию (по модулям), итоговую аттестацию (в форме экзамена).

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

8.2. Контрольные вопросы по дисциплине

Модуль 1

1. Особенности управления РДУ.
2. Классификация систем автоматического управления.
3. Разомкнутая система программного управления.
4. Разомкнутая система с компенсацией воздействия внешних возмущений.
5. Стабилизирующие замкнутые САУ.
6. Замкнутые системы программного регулирования.
7. Следящие замкнутые САУ.
8. Самонастраивающиеся системы экстремального управления.
9. Системы с самонастраивающимися корректирующими контурами.
10. Самонастраивающиеся САУ с автоматическим поиском оптимальных режимов работы.
11. Игровые САУ.

Модуль 2

12. Основные понятия о статических характеристиках ДУ.
13. Статическая характеристика камеры.
14. Статическая характеристика смесительной головки камеры.
15. Статическая характеристика тракта охлаждения камеры.
16. Статические характеристики магистралей.
17. Статические характеристики систем подачи компонентов топлива.

18. Статическая характеристика турбины.
19. Статическая характеристика газогенератора.
20. Статическая характеристика системы питания ГГ.
21. Метод малых отклонений в теории автоматического регулирования.
22. Влияние внешних возмущений на статические характеристики.
23. Выбор регулируемых величин.

Модуль 3

24. Уравнение динамики камеры сгорания ЖРД.
25. Уравнения динамики форсуночной смесительной головки.
26. Уравнения динамики трубопроводов и тракта охлаждения.
27. Уравнения динамики насосного агрегата.
28. Уравнение динамики роторной части турбонасосного агрегата.
29. Уравнения динамики газогенератора.
30. Уравнение динамики управляющего элемента.
31. Уравнение динамики двигательной установки.
32. Оценка качества переходных процессов систем автоматического регулирования.
33. Устойчивость линейных систем автоматического регулирования РДУ.

9. Ресурсное обеспечение дисциплины

9.1. Материально-техническое обеспечение дисциплины

9.1.1. Современные приборы, установки (стенды), необходимость специализированных лабораторий и классов:

Изучение курса происходит в специализированной лаборатории, оборудованной двигательными установками и стендами с элементами ЛА и блоками ракетного комплекса.

Ауд. 3-106

Демонстрационный зал (наглядные пособия: изделие 8К51, изделие РН2)

Ауд. 4-500

Демонстрационный зал. Наглядное пособие: 4 камеры изделия РД-214, изделие РД-214, изделие ГТД-3М.

Ауд. 3-206

Мультимедийная лаборатория «Пневмогидросистемы» (макеты узлов и агрегатов автоматики ПГС ЛА, мультимедийное оборудование: проектор, ноутбук, экран)

Ауд. 3-307

Вычислительный класс, 10 ПК.

Ауд. 3-215

Мультимедийная лаборатория «Ракеты и ракетные двигатели» (двигатели 3 шт., РД-8, Д-419, турбонасосный агрегат, экспериментальный двигатель ЖРД, элементы автоматики подачи топлива, мультимедийное оборудование: проектор, ноутбук, экран)

9.1.2. Технические средства обучения и контроля

1. Использование учебных плакатов по разделам дисциплины.
2. Демонстрация элементов САУ двигателей летательных аппаратов, макетов и элементов автоматики ДЛА, изготовленных в металле.
3. Применение раздаточного материала в виде ксерокопий по разделам дисциплины.
4. Демонстрация учебных фильмов и слайдов по разделам дисциплины.
5. Мультимедийные аудитории.
6. Применение электронного учебно-методического комплекса «Автоматика и регулирование ракетных двигателей» и системы дистанционного обучения «Прометей» со

встроенной электронной системой тестирования усвоения материала.

9.1.3 Вычислительная техника

ЭВМ используется на всех этапах учебного процесса:

1. На практических занятиях Работа студентов с типовыми программами по решению отдельных задач с выбором оптимального варианта решения.
2. Выполнение отдельных видов расчетов РГР с применением возможностей расчетных и графических редакторов.
3. При изучении теоретического материала (самостоятельно) работа с обучающе-контролирующими программами, содержащими учебный материал по разделам дисциплины.
4. При проведении лабораторных работ использование расчетных программ по обработке результатов эксперимента.
5. На лекционных занятиях.

9.2. Учебно-методическое и информационное обеспечение

9.2.1. Основная литература

1. Агрегаты регулирования жидкостных ракетных двигательных установок [Текст] : учеб. пособие для вузов по направлению подгот. бакалавров и магистров "Авиационная и ракетно-космическая техника", специальности "Проектирование авиационных и ракетных двигателей" / Ю. И. Васютин [и др.] ; под ред. Д. А. Ягодникова. - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. - 223, [1] с.
2. Ившин, В. П. Современная автоматика в системах управления технологическими процессами : учеб. пособие / В. П. Ившин, М. Ю. Перухин. - М.: ИНФРА-М, 2015. - 399 с.
3. Нагорный, В.С. Средства автоматизации гидро- и пневмосистем: учебное пособие / В. С. Нагорный. - СПб. и др.: Изд-во Лань, 2014. - 441 с.

9.2.2. Дополнительная литература

1. Анализ устойчивости и коррекция динамических свойств систем автоматического регулирования: методические указания к расчетно-графической работе / ОмГТУ ; сост. Р. Н. Хамитов, А. Б. Яковлев, О. А. Лысенко. - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2009. - 71 с.
2. Коррекция динамических свойств систем автоматического управления [Электронный ресурс]: Метод. указания. - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2017. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).
3. Сборник задач по курсу «Теория автоматического регулирования» для студентов специальностей (направлений подготовки) 160100, 160301, 160302, 160801, 160803 / ОмГТУ ; сост. А. Б. Яковлев, Г. С. Аверьянов, И. А. Кузьменко. - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2008. - 20 с.
4. Системы автоматического регулирования и регуляторы жидкостных ракетных двигательных установок: методические указания к лабораторным работам / сост. А. Б. Яковлев. - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2015. - 71 с.
5. Яковлев, А. Б. Автоматика и регулирование ракетных двигателей: учеб. пособие / А. Б. Яковлев ; ОмГТУ. - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2014. - 144 с.
6. Основы автоматического управления [Электронный ресурс] : метод. указания / сост. Р.Н.Хамитов, Г.С. Аверьянов, А.Б. Яковлев, А.Ю. Ковалев. - Электрон. текст. дан. (386 Кб). - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2012. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

9.2.3. Периодические издания

1. Авиационные и ракетные двигатели: ЭРЖ. 1997-2014.
2. Авиация и космонавтика вчера, сегодня, завтра. 2006-2017.
3. Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 1995-2016.
4. Известия Российской Академии наук. Механика жидкости и газа. 2002-2017.
5. Ракетостроение и космическая техника: ЭРЖ. 1997-2016.

9.2.4. Информационные ресурсы

1. ЭБС «АРБУЗ».
2. Научная электронная библиотека elibrary.ru.
3. «Integrum».
4. Springer.



Согласовано:

Библиотека ОмГТУ

Ильина / Третьякова

(штамп КО и подпись зам. директора библиотеки)