

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Физико-технический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Декан физико-технического ф-та
профессор Э.Р. Шрагер



2016 г.

Рабочая программа дисциплины

Динамика реактивных систем

Направление подготовки

24.04.03 – Баллистика и гидроаэродинамика

Наименование магистерской программы

Динамика полета и управление движением ракет и космических аппаратов

Квалификация (степень) выпускника

Магистр

Форма обучения

очная

Томск 2016

1. Код и наименование дисциплины (модуля)

Б1.В.ДВ.4.1 – Динамика реактивных систем

2. Место дисциплины в структуре ООП магистратуры

Дисциплина относится к дисциплинам по выбору вариативной части ООП

Целями освоения учебной дисциплины «Динамика реактивных систем» являются:

– приобретение основ фундаментальных знаний и представлений о принципах, структуре и особенностях динамики полета реактивных снарядов, понимание взаимосвязи многих сложных физических явлений и процессов, позволяющих решать задачи математического моделирования движения неуправляемых реактивных тел в атмосфере земли;

– ознакомление с методами и подходами решения задач лабораторной и полигонных практик отработки реактивных систем.

Освоение дисциплины позволяет глубже разобраться в теоретических основах и практических алгоритмах и методик определения основных аэродинамических характеристик неуправляемых реактивных снарядов.

3. Год/годы и семестр/семестры обучения.

Первый год и второй семестр обучения

4. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (если есть).

Настоящая дисциплина логически и содержательно-методически связана с предшествующими дисциплинами, такими как «Физика», «Математика», «Теоретическая механика», «Информатика», «Теория вероятностей и математическая статистика», «Функциональный анализ», «Методы математической физики».

Курс, наряду с другими дисциплинами магистратуры, способствует приобретению навыков в проведении аэродинамического расчета, осмыслению принципиальных основ научно-исследовательской работы.

Дисциплина «Численные методы в аэродинамике» опирается на дисциплины «Дифференциальные уравнения», «Численные методы», «Методы математической физики», «Аэрогидродинамика», «Динамика движения тел в жидкостях и газах».

Для изучения и понимания материала данной дисциплины обучающийся должен знать математический анализ, теорию обыкновенных дифференциальных уравнений, основы линейной алгебры, численные методы технической физики.

Лица, имеющие диплом бакалавра по направлению подготовки Баллистика и гидроаэродинамика и желающие освоить данную магистерскую программу.

5. Общая трудоемкость дисциплины (модуля) составляет 5 зачетных единиц, 180 часов, из которых 34 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (10 часов – занятия лекционного типа, 10 часов – занятия семинарского типа, 14 часов – лабораторные занятия), 110 часов составляет самостоятельная работа обучающегося, 36 часов – подготовка к экзамену.

6. Формат обучения

Дисциплина реализуется в форме аудиторного обучения

7. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (заполняется в соответствии с картами компетенций)

Формируемые компетенции (код компетенции, уровень (этап) освоения)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
<p>Выпускник должен обладать готовностью формулировать, анализировать и решать сложные инженерные задачи в области баллистики и гидроаэродинамики, механики движения и управления движением на основе профессиональных знаний (ОПК-2);</p>	<p>З (ОПК-2) – 1 Знать: методы определения областей применимости различных методов исследований У (ОПК-2) – 2 Уметь формулировать сложные инженерные задачи в области динамики реактивных снарядов на основе профессиональных знаний. В(ОПК-2) – 1 Владеть методами решения задач динамики реактивных снарядов</p>
<p>Выпускник должен обладать способностью ориентироваться в постановке задачи и определять, каким образом следует искать средства ее решения (ПК-13)</p>	<p>З (ПК-13) – 3 Знать основные методы, лежащие в основе постановки задач внешней баллистики реактивных снарядов У(ПК-13) – 3 Уметь корректно формулировать задачи внешней баллистики реактивных снарядов. В (ПК-13) – 3 Владеть способностью ориентироваться в применении различных методов решения задач внешней баллистики реактивных снарядов</p>
<p>Выпускник должен обладать методами анализа и синтеза изучаемых явлений и процессов и способностью критически резюмировать информацию (ПК-14);</p>	<p>З (ПК-14) – 2 Знать условия и особенности применения баллистического приближения к задачам динамики реактивных снарядов. У(ПК-14) – 2 Уметь на основе анализа сил и моментов, действующих на снаряд в полете составлять моделирующую систему уравнений динамики реактивных снарядов. В (ПК-14) – 2 Владеть технологией анализа модели на адекватность изучаемым процессам</p>

8. Содержание дисциплины (модуля) и структура учебных видов деятельности

№ п/п	Наименование разделов и тем	Семестр	Неделя семестра	Контактная работа			Сам. раб.	Подгот. к экзамен.
				Лекции	Семинары	Лаб. работы		
1	Общие уравнения движения неуправляемых реактивных снарядов в проекциях на оси выбранных систем координат.	2	1	1	1		2	
2	Движение невращающегося реактивного снаряда.	2	2	1	1	2	4	
3	Построение приближенного решения задачи о колебательном движении реактивного снаряда в конечном виде.	2	3-4	2	2	2	4	
4	Расчет рассеивания конкретных типов ракет.	2	5-6	2	2	2	4	
5	Рассеивание противотанковых систем.	2	7-8	2	2	2	4	
6	Исследование движения вращающихся ракет.	2	9-16	2	2	6	4	
	Подготовка к экзамену							36
	Всего часов (180)			10	10	14	110	36
	У.Е.					5		

9. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю) и методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля).

Самостоятельная (внеаудиторная) работа студентов состоит:

- в изучении теоретических разделов курса с помощью литературы, предлагаемой лектором из основного и дополнительного списка.
- в подготовке и написании рефератов.

Темы рефератов.

1. Кинематические соотношения, определяющие движение реактивных снарядов. Определение сил и моментов, действующих на неуправляемый реактивный снаряд.
2. Линеаризация уравнений пространственного движения относительно угловых параметров. Уравнения продольного движения реактивного снаряда. Боковое движение невращающегося реактивного снаряда. Уравнения движения реактивного снаряда при наличии ветра.
3. Критерии устойчивости движения по Ляпунову, вытекающие из рассмотрения дифференциальных уравнений движения.

4. Доминирующая роль несимметрии реактивной силы в угловом разбросе оперенных ракет. Конечные формулы для угла атаки и для углового отклонения вектора скорости $\Delta\theta$, содержащие функции Бесселя и интегралы Френеля.
5. Критический участок траектории. Графический метод расчета. Основная расчетная формула для определения углового разброса реактивного снаряда.
6. Основные особенности баллистики противотанковых реактивных снарядов. Влияния аэродинамических сил и моментов на угловые отклонения противотанковых ракет.
7. Дальность прямого выстрела. Анализ углового и бокового разброса противотанковых ракет. Расчет рассеивания противотанковых ракет по высоте.
8. Система уравнений движения для определения угловых отклонений оси и вектора скорости. Свободное колебание оси ракеты. Условия устойчивости. Вынужденные колебания оси вращающейся ракеты.
9. Решения задачи о движении реактивного снаряда в упрощенной постановке. Определение начальных условий схода ракеты с направляющей.

Лабораторные работы:

1. Параметрические исследования влияния аэродинамического коэффициента лобового сопротивления на траекторию РС.
2. Параметрические исследования влияния аэродинамического коэффициента подъемной силы на траекторию РС.
3. Параметрические исследования влияния аэродинамического коэффициента стабилизирующего момента на траекторию РС.
4. Влияние формы тела на скорость центра масс и дальность полета РС.
5. Влияние начальных условий схода с направляющей на рассеивание РС.
6. Влияние крутящего момента на рассеивание РС.

10. Форма промежуточной аттестации и фонд оценочных средств, включающий:

- Перечень компетенций выпускников образовательной программы, в формировании которых участвует дисциплина (модуль), и их карты (*карты компетенций приводятся целиком вместе с критериями оценивания*).

КАРТА КОМПЕТЕНЦИИ

Шифр и название КОМПЕТЕНЦИИ

ОПК-2 – обладать готовностью формулировать, анализировать и решать сложные инженерные задачи в области баллистики и гидроаэродинамики, механики движения и управления движением на основе профессиональных знаний
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

Тип КОМПЕТЕНЦИИ:

Общепрофессиональная компетенция выпускника образовательной программы магистратуры по направлению «Баллистика и гидроаэродинамика»

ПОРОГОВЫЙ (ВХОДНОЙ) УРОВНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ

Для того чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы магистратуры, должен:

ЗНАТЬ: основные фундаментальные знания в физике, механике сплошной среды, баллистике

УМЕТЬ: осуществлять отбор материала, характеризующего достижения механики сплошной среды, баллистики с учетом специфики направления подготовки.

ВЛАДЕТЬ: методами и технологиями решения задач баллистики.

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ ОПК-2
И КРИТЕРИИ ИХ ОЦЕНИВАНИЯ**

Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
Знать методы определения областей применимости различных методов исследований Шифр: 3 (ОПК-2) –1	Отсутствие знаний	Фрагментарное знание методов определения областей применимости различных методов исследований	Общие, но не структурированные знания методов определения областей применимости различных методов исследований	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания методов определения областей применимости различных методов исследований	Сформированные системные знания методов определения областей применимости различных методов исследований
Уметь формулировать сложные инженерные задачи в области динамики реактивных снарядов на основе профессиональных знаний Шифр: У (ОПК-2) –1	Отсутствие умений.	Фрагментарное умение формулировать сложные инженерные задачи в области динамики реактивных снарядов на основе профессиональных знаний	В целом успешное, но не систематическое умение формулировать сложные инженерные задачи в области динамики реактивных снарядов на основе профессиональных знаний	В целом успешное, но сопровождающееся отдельными ошибками умение формулировать сложные инженерные задачи в области динамики реактивных снарядов на основе профессиональных знаний	Сформированное умение формулировать сложные инженерные задачи в области динамики реактивных снарядов на основе профессиональных знаний

Критерии оценивания результатов обучения		Критерии оценивания результатов обучения				
		1	2	3	4	5
Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Владеть методами решения задач динамики реактивных снарядов Шифр: В (ОПК-2) –1	Отсутствие навыков.	Фрагментарное владение методами решения задач динамики реактивных снарядов	В целом успешное, но не систематическое владение методами решения задач динамики реактивных снарядов	В целом успешное, но сопровождающееся незначительными ошибками владения методами решения задач динамики реактивных снарядов	Успешное и систематическое владение методами решения задач динамики реактивных снарядов

КАРТА КОМПЕТЕНЦИИ

Шифр и название КОМПЕТЕНЦИИ

ПК-13 – обладать способностью ориентироваться в постановке задачи и определять, каким образом следует искать средства ее решения

Тип КОМПЕТЕНЦИИ:

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

Профессиональная компетенция выпускника образовательной программы магистратуры по направлению «Баллистика и гидроаэродинамика»

ПОРОГОВЫЙ (ВХОДНОЙ) УРОВЕНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ

Для того чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы магистратуры, должен:

ЗНАТЬ: основные фундаментальные знания в физике, механике сплошной среды, баллистике

УМЕТЬ: осуществлять отбор материала, характеризующего достижения механики сплошной среды, баллистики с учетом специфики направления подготовки.

ВЛАДЕТЬ: методами и технологиями решения задач баллистики.

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ ПК-13
И КРИТЕРИИ ИХ ОЦЕНИВАНИЯ**

Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
Знать основные методы, лежащие в основе постановки задач внешней баллистики реактивных снарядов Шифр: 3 (ПК-13) –3	Отсутствие знаний	Фрагментарное знание основных методов, лежащих в основе постановки задач внешней баллистики реактивных снарядов	Общие, но не структурированные знания основных методов, лежащих в основе постановки задач внешней баллистики реактивных снарядов	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основных методов, лежащих в основе постановки задач внешней баллистики реактивных снарядов	Сформированные системные знания основных методов, лежащих в основе постановки задач динамики полета тел, стабилизируемых вращением внешней баллистики реактивных снарядов
Уметь корректно формулировать задачи внешней баллистики реактивных снарядов Шифр: У (ПК-13) –3	Отсутствие умений.	Фрагментарное умение корректно формулировать задачи внешней баллистики реактивных снарядов	В целом успешное, но не систематическое умение корректно формулировать задачи внешней баллистики реактивных снарядов	В целом успешное, но сопровождающееся отдельными ошибками умение корректно формулировать задачи внешней баллистики реактивных снарядов	Сформированное умение корректно формулировать задачи внешней баллистики реактивных снарядов

Критерии оценивания результатов обучения				
Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
	1	2	3	4
<p>Отсутствие навыков.</p> <p>Владеть способностью ориентироваться в применении различных методов решения задач внешней баллистики реактивных снарядов</p> <p>Шифр: В (ПК-13) –3</p>	<p>Фрагментарное владение способностью ориентироваться в применении различных методов решения задач внешней баллистики реактивных снарядов</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое владение способностью ориентироваться в применении различных методов решения задач внешней баллистики реактивных снарядов</p>	<p>В целом успешное, но сопровождающееся незначительными ошибками владение способностью ориентироваться в применении различных методов решения задач внешней баллистики реактивных снарядов</p>	<p>Успешное и систематическое владение способностью ориентироваться в применении различных методов решения задач внешней баллистики реактивных снарядов</p>

КАРТА КОМПЕТЕНЦИИ

Шифр и название КОМПЕТЕНЦИИ

ПК-14 – обладать владением методами анализа и синтеза изучаемых явлений и процессов и способность критически резюмировать информацию

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

Тип КОМПЕТЕНЦИИ:

Профессиональная компетенция выпускника образовательной программы магистратуры по направлению «Баллистика и гидроаэродинамика»

ПОРОГОВЫЙ (ВХОДНОЙ) УРОВНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ

Для того чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы магистратуры, должен:

ЗНАТЬ: основные фундаментальные знания в физике, механике сплошной среды, баллистике

УМЕТЬ: осуществлять отбор материала, характеризующего достижения механики сплошной среды, баллистики с учетом специфики направления подготовки.

ВЛАДЕТЬ: методами и технологиями решения задач баллистики.

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ ПК-14
И КРИТЕРИИ ИХ ОЦЕНИВАНИЯ**

Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
Знать условия и особенности применения баллистического приближения к задачам динамики реактивных снарядов Шифр: З (ПК-14) –2	Отсутствие знаний	Фрагментарное знание условий и особенностей применения баллистического приближения к задачам динамики реактивных снарядов	Общие, но не структурированные знания условий и особенностей применения баллистического приближения к задачам динамики реактивных снарядов	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания условий и особенностей применения баллистического приближения к задачам динамики реактивных снарядов	Сформированные системные знания условий и особенностей применения баллистического приближения к задачам динамики реактивных снарядов
Уметь на основе анализа сил и моментов, действующих на снаряд в полете составлять модельную систему уравнений динамики реактивных снарядов Шифр: У (ПК-14) –2	Отсутствие умений.	Фрагментарное умение на основе анализа сил и моментов, действующих на снаряд в полете составлять модельную систему уравнений динамики реактивных снарядов	В целом успешное, но не систематическое умение на основе анализа сил и моментов, действующих на снаряд в полете составлять модельную систему уравнений динамики реактивных снарядов	В целом успешное, но сопровождающееся отдельными ошибками умение на основе анализа сил и моментов, действующих на снаряд в полете составлять модельную систему уравнений динамики реактивных снарядов	Сформированное умение на основе анализа сил и моментов, действующих на снаряд в полете составлять модельную систему уравнений динамики реактивных снарядов

Критерии оценивания результатов обучения		
Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) Владеть технологией анализа модели на адекватность изучаемым процессам Шифр: В (ПК-14) –2	1	Отсутствие навыков.
	2	Фрагментарное владение технологией анализа модели на адекватность изучаемым процессам
	3	В целом успешное, но не систематическое владение технологией анализа модели на адекватность изучаемым процессам
	4	В целом успешное, но сопровождающееся незначительными ошибками владение технологией анализа модели на адекватность изучаемым процессам
	5	Успешное и систематическое владение технологией анализа модели на адекватность изучаемым процессам

- Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций (*знания, умения, навыки и (или) опыт деятельности*) должны соответствовать указанным в п.б настоящего документа и соответствовать картам компетенций)

Вопросы самоконтроля знаний.

1. Системы координат, необходимые для описания движения неуправляемого реактивного снаряда.
2. Силы и моменты, действующие на неуправляемый реактивный снаряд при его движении в воздухе в проекциях на оси выбранных систем координат.
3. Система дифференциальных уравнений, определяющая движение реактивного снаряда при любых значениях углов атаки и скольжения.
4. Линеаризация уравнений пространственного движения относительно угловых параметров.
5. Критерии устойчивости движения по Ляпунову, вытекающие из рассмотрения дифференциальных уравнений движения.
6. Интегрирование уравнений колебательного движения реактивного снаряда.
7. Вероятные угловые отклонения вектора скорости.
8. Критический участок траектории.
9. Графический метод расчета. Спираль Корню.
10. Зависимость углового разброса от конкретных параметров ракеты и длины направляющей.
11. Эффективная длина направляющей.
12. Основные особенности баллистики противотанковых реактивных снарядов.
13. Влияния аэродинамических сил и моментов на угловые отклонения противотанковых ракет.
14. Дальность прямого выстрела.
15. Линеаризованные уравнения движения при исследовании движения вращающихся ракет
16. Преобразование уравнений вращательного движения.
17. Свободное колебание оси ракеты. Условия устойчивости.
18. Вынужденные колебания оси вращающейся ракеты.
19. Определение начальных условий схода ракеты с направляющей.

- Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения.

На основе содержания курса, по каждому из разделов сформулированы вопросы, обсуждаемые в ходе работы с преподавателем. Круг вопросов может выходить за рамки содержания данной дисциплины и касается изложения курсов, перечисленных в разделе 4 настоящей программы. Уровень подготовки обучающегося и его оценка выявляются в результате собеседований, обсуждения хода подготовки рефератов. Самостоятельная работа студентов опирается на ряд учебных пособий. В основе итоговой

оценки лежит качество освоения разделов дисциплины с учётом степени активности каждого слушателя в ходе проведения семинаров.

11. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и дополнительной учебной литературы.

а) основная литература

1. Степанов В. П. Внешняя баллистика. Ч. 1 / В. П. Степанов ; Том. гос. ун-т. – Томск: Издательство Том. ун-та, 2011. – 737 с.: ил.
2. Степанов В. П. Внешняя баллистика. Ч. 2 / В. П. Степанов ; Том. гос. ун-т. – Томск: Издательство Том. ун-та, 2011. – 540 с. – URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000408012>
3. Степанов В. П. Внешняя баллистика : [сборник таблиц]. Ч. 3 / В. П. Степанов, А. М. Тимохин ; Том. гос. ун-т. Томск : Издательство Том. ун-та, 2011. – 384 с.
4. Калугин В. Т. Аэрогазодинамика органов управления полетом летательных аппаратов: [учебное пособие] / В. Т. Калугин. – М.: Изд-во МГТУ, 2004. – 686 с.

б) дополнительная литература

1. Движение ракет : Введение в теорию полета ракет / А. А. Дмитриевский, В. П. Казаковцев, В. Ф. Устинов и др. ; Под ред. А. А. Дмитриевского. – М. : Воениздат, 1968. – 463 с.
2. Гантмахер Ф.Р., Левин Л.М. Теория полета неуправляемых ракет. М: Физматгиз, 1959, 230 с.
3. Колесников А. А. Новые нелинейные методы управления полетом / А. А. Колесников. – М. : Физматлит, 2013. – 193 с.
4. Охоцимский Д. Е. Основы механики космического полета : [учебное пособие] / Д. Е. Охоцимский, Ю. Г. Сихарулидзе. – [Б. м. : б. и., 200-?]. – URL: <http://sun.tsu.ru/limit/2016/000335827/000335827.pdf>

МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

- Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет. Все виды информационных ресурсов Научной библиотеки ТГУ. Информационные источники сети Интернет.
- Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы (при необходимости).

Технология поиска необходимой информации в традиционной форме, в форме электронных баз данных, в сети Интернет. Работа с научно-технической литературой. Использование материалов, представленных в ранее изученных дисциплинах. Анализ и компоновка собранных материалов в виде доклада и рефератов на заданную тему. Анализ результатов дискуссии. Изучение содержания докладов по рефератам.

Программное обеспечение курсов, предшествующих изучению данной дисциплины
Компьютерные классы физико-технического факультета

- Описание материально-технической базы.

Вычислительный кластер ТГУ (суперкомпьютер) "СкифCyberia". Сверхзвуковая Аэродинамическая труба. Набор демонстрационных установок.

12. Язык преподавания.

Русский.

13. Преподаватель (преподаватели)

Доцент физико-технического ф-та ТГУ



В.В.Фарапонов

Программа одобрена на заседании ученого совета физико-технического факультета ТГУ от 1.07. 2016 года, протокол № 46