

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**  
**Директор физтех-школы**  
**аэрокосмических технологий**  
**С.С. Негодяев**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Рабочие процессы в жидкостных ракетных двигателях
<b>по направлению:</b>	Техническая физика
<b>профиль подготовки:</b>	Техническая физика космических летательных аппаратов Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра тепловых процессов
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Количество контрольных работ, заданий: 2

Программу составил: С.В. Мосолов, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры тепловых процессов 04.06.2020

## Аннотация

Курс "Рабочие процессы в жидкостных ракетных двигателях" относится к вариативной части образовательной программы, изучается на 5 курсе.

Изучение данной дисциплины опирается на знания, полученные в процессе освоения дисциплины "Термодинамика", "Газовая динамика", "Теплообмен", "Основы программирования".

Изучение учебной дисциплины направлено на углубление и расширение базовой профессиональной подготовки магистров, формирование соответствующих компетенций.

В учебной дисциплине рассматриваются основные вопросы в области создания математических моделей агрегатов жидкостного ракетного двигателя и математической модели рабочих процессов и функционирования двигателя в целом, теоретические основы построения сложного программного продукта, обеспечивающего взаимосогласованные связи между входящими в него подпрограммами, работы с математической моделью двигателя на примере существующего программного комплекса.

Студенты узнают устройство ЖРД и физические процессы, протекающие при его функционировании, конструктивные и функциональные связи элементов и агрегатов в двигателе, современные подходы к моделированию процессов в ракетных двигателях и пределы их применимости. По завершению курса студенты должны владеть навыками изучения сложных технических систем, таких как ракетный двигатель или энергетическая установка с целью построения их математической модели и освоения комплексной информации по физическому явлению, его математической модели и численной реализации, а так же создать топологическую схему двигателя и сопрягать математические модели взаимообусловленных физических процессов.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- формирование базовых знаний и теоретических основ по созданию multifunctional комплекса компьютерного моделирования рабочих процессов и функционирования жидкостных ракетных двигателей, применяемого при разработке ракетно-космической техники.

### Задачи дисциплины

- Дать студентам базовые знания в области создания математических моделей агрегатов жидкостного ракетного двигателя и математической модели рабочих процессов и функционирования двигателя в целом.
- Дать студентам теоретические основы построения сложного программного продукта, обеспечивающего взаимосогласованные связи между входящими в него подпрограммами.
- Привить студентам навыки работы с математической моделью двигателя на примере существующего программного комплекса.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-5 Способен осваивать и применять современные физико-математические методы и методы искусственного интеллекта для решения профессиональных задач, составлять практические рекомендации по использованию полученных результатов	ОПК-5.1 Владеет современными расчетно-теоретическими методами, методами компьютерного моделирования и средами разработки программного обеспечения, применяемыми при решении задач в своей профессиональной области
	ОПК-5.2 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, способен обосновать эффективность выбранного метода
ПК-1 Способен критически анализировать современные проблемы технической физики, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в области технической физики
	ПК-1.2 Способен ставить задачи в области профессиональной деятельности, предлагать пути их решения

теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты

ПК-1.3 Способен разрабатывать и применять наиболее подходящие теоретические и экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- устройство ЖРД и физические процессы, протекающие при его функционировании;
- конструктивные и функциональные связи элементов и агрегатов в двигателе;
- современные подходы к моделированию процессов в ракетных двигателях и пределы их применимости.

уметь:

- использовать фундаментальные знания для построения функциональной модели двигателя;
- создать топологическую схему двигателя;
- сопрягать математические модели взаимообусловленных физических процессов.

владеть:

- навыками изучения сложных технических систем, таких как ракетный двигатель или энергетическая установка с целью построения их математической модели;
- навыками освоения комплексной информации по физическому явлению, его математической модели и численной реализации;
- навыками самостоятельной работы;
- культурой постановки и моделирования физических задач.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Необходимость аккумуляции опыта, накопленного в отрасли и его использование		2		1
2	Преимущества и недостатки математического моделирования в сравнении с физическим моделированием рабочих процессов в ЖРД.		3		2
3	Концептуальные принципы построения программного комплекса моделирования рабочих процессов в ЖРД.		4		2
4	Структура построения системы многофункционального компьютерного моделирования рабочих процессов в ЖРД		4		2
5	Математическое моделирование агрегата		5		2
6	Программная реализация		4		2
7	Примеры создания математической модели ЖРД и моделирования рабочих процессов.		4		2

8	Функциональные блоки		4		2
Итого часов			30		15
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		45 час., 1 зач.ед.			

## 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 2 (Весенний)

### 1. Необходимость аккумуляции опыта, накопленного в отрасли и его использование

Необходимость аккумуляции опыта, накопленного в отрасли. Использование опыта предыдущего поколения.

### 2. Преимущества и недостатки математического моделирования в сравнении с физическим моделированием рабочих процессов в ЖРД.

Преимущества и недостатки математического моделирования в сравнении с физическим моделированием рабочих процессов. Качество, скорость, доступность, производительность.

Различия системы автоматизированного проектирования двигателя и системы математического моделирования.

Многофункциональное компьютерное моделирование сложной технической системы.

### 3. Концептуальные принципы построения программного комплекса моделированием рабочих процессов в ЖРД.

Ориентация на конструкторские задачи. Автоматическая генерация математической модели сложной технической системы. Автоматический запрос исходных данных. Использование разветвленной базы данных по теплофизическим и термодинамическим свойствам веществ.

Возможность обновления и модернизации системы.

### 4. Структура построения системы многофункционального компьютерного моделирования рабочих процессов в ЖРД

Структура построения системы многофункционального компьютерного моделирования жидкостного ракетного двигателя: проектирование «сверху - вниз» от общих свойств объекта к его частностям.

- уровень ракеты
- уровень двигателя, как подсистема ракет
- уровень агрегата, как подсистемы двигателя
- уровень деталей агрегата

### 5. Математическое моделирование агрегата

Модульный принцип моделирования. Связь элементов и взаимодействие информационных потоков. Топологическая и функциональная математическая модель, матричная модель двигателя. Математическая модель – расчетный модуль элемента. Паспорт модуля, исходные данные, результаты, внутренние параметры модуля, ограничения применения математической модели.

### 6. Программная реализация

Расчетный модуль «Камера сгорания»

Расчетный модуль «Газогенератор»

Расчетный модуль «Насос»

Расчетный модуль «Газовая и жидкостная турбина»

Расчетные модули «Вход», «Магистраль жидкостная», «Магистраль газовая», «Узел раздающий», «Узел собирающий», «Механический вал».

#### 7. Примеры создания математической модели ЖРД и моделирования рабочих процессов.

Примеры создания модели двигателя, задание исходных данных, решение проблем «Энергетика» и «Проектирование». Анализ результатов расчета.

#### 8. Функциональные блоки

Энергетическая увязка параметров схемы – проблема «Энергетика»

Расчет геометрических характеристик – проблема «Проектирование»

Расчет стационарных режимов работы – проблема «Статика»

### 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

### 6. Перечень рекомендуемой литературы

#### Основная литература

1. Е.В. Лебединский, С.В. Мосолов, Г.П. Калмыков, и др. Компьютерные модели жидкостных ракетных двигателей. Под ред. академика РАН А.С. Коротева., М.: Машиностроение, 2009г. 376 с.
2. Е.В. Лебединский., Г.П. Калмыков, С.В. Мосолов и др.; под ред. академика РАН А.С. Коротева «Рабочие процессы в жидкостном ракетном двигателе и их моделирование» М.: Машиностроение 2008 г., 512 стр.:(12) с цв. вкл.
3. Добровольский М. В. , Жидкостные ракетные двигатели. Москва, изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005 г.
4. Алемасов В.Е., Дрегаллин А.Ф., Тишин А.П. Теория ракетных двигателей. Под редакцией академика. Глушко В.П., Москва, изд-во «Машиностроение», 1980 г.
5. Основы теории и расчета жидкостных ракетных двигателей. Книга 1, 2. Под редакцией профессора Кудрявцева В.М., Москва, изд-во «Высшая школа, 1993 г.
6. Овсянников Б.В., Боровский Б.И. Теория и расчет агрегатов питания жидкостных ракетных двигателей. Изд-во «Машиностроение», Москва, 1986 г.

#### Дополнительная литература

1. Теория и расчет агрегатов питания жидкостных ракетных двигателей [Текст] : учебник для студентов : доп. М-вом образования СССР / Б. В. Овсянников, Б. И. Боровский .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1979 .— 344 с.

### 7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».
2. <http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.

### 8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

программное обеспечение: Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint), OpenOffice.

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Успешное освоение курса «Рабочие процессы в жидкостных ракетных двигателях» требует самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала (по конспектам семинаров, учебной и научной литературе).

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется при индивидуальных консультациях.

Показателем владения материалом служит умение решать задачи. Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо принимать участие в решении прикладных задач в составе научного коллектива.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Техническая физика
<b>профиль подготовки:</b>	Техническая физика космических летательных аппаратов Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра тепловых процессов
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчик:** С.В. Мосолов, канд. физ.-мат. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-5 Способен осваивать и применять современные физико-математические методы и методы искусственного интеллекта для решения профессиональных задач, составлять практические рекомендации по использованию полученных результатов	ОПК-5.1 Владеет современными расчетно-теоретическими методами, методами компьютерного моделирования и средствами разработки программного обеспечения, применяемыми при решении задач в своей профессиональной области
	ОПК-5.2 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, способен обосновать эффективность выбранного метода
ПК-1 Способен критически анализировать современные проблемы технической физики, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в области технической физики
	ПК-1.2 Способен ставить задачи в области профессиональной деятельности, предлагать пути их решения
	ПК-1.3 Способен разрабатывать и применять наиболее подходящие теоретические и экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Рабочие процессы в жидкостных ракетных двигателях» обучающийся должен:

### знать:

- устройство ЖРД и физические процессы, протекающие при его функционировании;
- конструктивные и функциональные связи элементов и агрегатов в двигателе;
- современные подходы к моделированию процессов в ракетных двигателях и пределы их применимости.

### уметь:

- использовать фундаментальные знания для построения функциональной модели двигателя;
- создать топологическую схему двигателя;
- сопрягать математические модели взаимообусловленных физических процессов.

### владеть:

- навыками изучения сложных технических систем, таких как ракетный двигатель или энергетическая установка с целью построения их математической модели;
- навыками освоения комплексной информации по физическому явлению, его математической модели и численной реализации;
- навыками самостоятельной работы;
- культурой постановки и моделирования физических задач.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Текущий контроль осуществляется в форме самостоятельных работ или тестов в письменной форме по каждой теме.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате анализа итогов контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также индивидуальных консультаций.

## 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Аттестация по дисциплине «Рабочие процессы в жидкостных ракетных двигателях» осуществляется в форме дифференцированного зачета (в устной форме).

Перечень вопросов к дифференцированному зачету:

1. Преимущества и недостатки математического моделирования ЖРД в сравнении с физическим моделированием рабочих процессов.
2. Концептуальные принципы построения программного комплекса (системы) моделирования рабочих процессов.
3. Ориентация на конструкторские задачи, использование разветвленной базы данных по теплофизическим и термодинамическим свойствам веществ.
4. Структура построения системы многофункционального компьютерного моделирования жидкостного ракетного двигателя.
5. Автоматическое создание математической модели для каждого уровня моделирования. Ограничения применения математической модели.
6. Основные понятия: связь элементов и взаимодействие информационных потоков, топологическая и функциональная математическая модель, матричная модель двигателя, расчетный модуль элемента, паспорт модуля, параметры модуля,
7. Функциональные блоки: проблема «Энергетика», проблема «Проектирование», проблема «Статика». Их связь и взаимодействие.
8. Расчетный модуль «Камера сгорания»
9. Расчетный модуль «Газогенератор»
10. Расчетный модуль «Насос»
11. Расчетный модуль «Газовая и жидкостная турбина»
12. Расчетные модули «Вход», «Магистраль жидкостная», «Магистраль газовая», «Узел раздающий», «Узел собирающий», «Механический вал».
13. Примеры создания модели двигателя, задание исходных данных, решение проблем «Энергетика» и «Проектирование».

#### Критерии оценивания

оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины;

оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины;

оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины;

оценка «хорошо (7)» выставляется студенту, если он твердо знает материал экзаменационного билета, грамотно и по существу излагает его, но допускает в ответе некоторые неточности;

оценка «хорошо (6)» выставляется студенту, если он знает материал экзаменационного билета, по существу излагает его, но допускает в ответе много неточностей;

оценка «хорошо (5)» выставляется студенту, если он знает материал экзаменационного билета, излагает его, не допускает в ответе грубых ошибок;

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту, если во время ответа экзаменационного билета он показал фрагментарный, характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения;

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту, если во время ответа экзаменационного билета он показал разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушение логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «неудовлетворительно (2-1)» выставляется студенту, если во время ответа экзаменационного билета, он показал, что не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Дифференцированный зачет проводится путем организации специального опроса в устной форме, а также по итогам текущей успеваемости с учетом ответов и активности на семинарах.

Во время проведения дифференцированного зачета при подготовке ответов на вопросы, обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины и любой другой литературой.

Во время проведения дифференцированного зачета при ответе обучающегося на вопросы по билету или по программе дисциплины, он не может пользоваться программой дисциплины и любой другой литературой.