

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**  
**«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»**  
**(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)**

УТВЕРЖДАЮ  
 Декан факультета

\_\_\_\_\_  
 (подпись) Юнаков Л. П.  
 ФИО  
 «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИКИ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ УЗЛОВ В ВРД

Направление/специальность подготовки	24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей
Специализация/профиль/программа подготовки	Проектирование авиационных двигателей и энергетических установок
Уровень высшего образования	Специалитет
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космической техники
Выпускающая кафедра	А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
Кафедра-разработчик рабочей программы	А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
4	7	3	108	51	17	0	34	57	0	0	57	ЭКЗ.

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)

**24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей**

год набора группы: 2024

Программу составил:

Кафедра А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ \_\_\_\_\_

Побемянский Антон Викторович, старший преподаватель

Программа рассмотрена  
на заседании кафедры-разработчика  
рабочей программы **А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Заведующий кафедрой Левихин А.А., к.т.н., доц. \_\_\_\_\_

Программа рассмотрена  
на заседании выпускающей кафедры

**А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Заведующий кафедрой Левихин А.А., к.т.н., доц. \_\_\_\_\_

# **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИКИ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ УЗЛОВ В ВРД**

### **Разделы рабочей программы**

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### **Приложения к рабочей программе дисциплины**

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПСК-1.10 — Владеет САЕ системой на уровне, необходимом для выполнения работ по профилю

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ПСК-1.10**

*знания:*

- единой системы конструкторской документации;
- теоретические основы разностного моделирования
- знание физических особенностей моделируемых процессов
- знание принципов построения конечно-элементных и сеточных моделей;
- задание граничных и физических условий
- подготовка модели к вычислению;;

*умения:*

- разрабатывать конструкторскую документацию на детали двигателей;
- владение САЕ-системой на уровне, необходимой для выполнения работ;
- определяет уровень сложности математической модели
- разграничивает и определяет физические условия при создании модели;;

*навыки:*

- умеет транслировать данные между CAD и САЕ системами.
- управление параметризацией объектов
- навыки трансляции данных из/в разные САЕ системы
- анализ результатов расчета
- подготовка графического материала для оформления КД.
- владеет САЕ системами проведения газодинамических расчетов (CFX, Fluent, Star-CCM+ или их аналоги)..

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИКИ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ УЗЛОВ В ВРД** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению *24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ПРОЕКТИРОВАНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ CAD/CAM/CAE-СИСТЕМ, ИНЖЕНЕРНАЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА.**

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ПОДГОТОВКА К ПРОЦЕДУРЕ ЗАЩИТЫ И ЗАЩИТА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ.**

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-3 — Способен разрабатывать нормативно-техническую документацию, связанную с профессиональной деятельностью
- ПСК-1.1 — Способен разрабатывать конструкторскую документацию на детали и узлы двигателей и стендового оборудования
- ПСК-1.10 — Владеет CAE системой на уровне, необходимом для выполнения работ по профилю
- ПСК-1.11 — Владеет САМ системой на уровне, необходимом для выполнения работ по профилю
- ПСК-1.6 — Способен разрабатывать КД на детали, изготавливаемые по аддитивным технологиям, изготавливать их и оценивать показатели качества деталей, полученных по аддитивным технологиям

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч.

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ПСК-1.10
4	7	Раздел 1. CFD-моделирование. Расчётное исследование процессов высоконагруженных узлов ВРД. Порядок CFD-моделирования.	8	2	2	0	6	15
4	7	Раздел 2. Построение 3D моделей. Построение геометрических 3D моделей и конечно-элементных моделей узлов ВРД.	10	2	2	0	8	15
4	7	Раздел 3. Расчёта рабочего процесса ВРД. Технология расчёта рабочего процесса ВРД. Настройка решателя. Задание начальных и граничных условий. Расчёт и условия сходимости. Визуализация результатов расчёта.	16	8	2	6	8	15
4	7	Раздел 4. САЕ – проектирование. Численное моделирование течения со смешением в каналах переменного сечения. Основы САЕ – проектирования.	19	11	3	8	8	20
4	7	Раздел 5. Построение геометрии смесителя. Построение геометрии смесителя и его расчёт с учётом процессов теплообмена. Влияние качества сетки и моделей турбулентности на результат САЕ – проектирования.	28	16	4	12	12	15
4	7	Раздел 6. Построение геометрии камеры сгорания ВРД газогенератора. Построение геометрии камеры сгорания ВРД газогенератора и расчёт образования СО и NOX в камерах сгорания с использованием САЕ – проектирования.	27	12	4	8	15	20
Всего за 7 семестр			108	51	17	34	57	100
Всего по дисциплине			108	51	17	34	57	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 3. Расчёта рабочего процесса ВРД.	Интерфейс САЕ – среды	6
2	Раздел 4. САЕ – проектирование.	Импортирование геометрии и работа с геометрией. Назначение физических и граничных условий	8
3	Раздел 5. Построение геометрии смесителя.	Задание условий на расчет. Проведение расчета.	12
4	Раздел 6. Построение геометрии камеры сгорания ВРД газогенератора.	Анализ полученных результатов	8
Всего за 7 семестр			34

#### 3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. CFD-моделирование.	Изучение материала по разделу	6
2	Раздел 2. Построение 3D моделей.	Изучение материала по разделу.	8
3	Раздел 3. Расчёта рабочего процесса ВРД.	Изучение материала по разделу. Подготовка отчета.	8
4	Раздел 4. САЕ – проектирование.	Изучение материала по разделу. Подготовка отчета.	8
5	Раздел 5. Построение геометрии смесителя.	Изучение материала по разделу. Подготовка отчета.	12
6	Раздел 6. Построение геометрии камеры сгорания ВРД газогенератора.	Изучение материала по разделу. Подготовка отчета.	15
Всего за 7 семестр			57

#### 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
7				Колл		ДР			Колл	ДР		Отч. по ПЗ				ДР	

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- Колл – коллоквиум;
- Отч. по ПЗ – отчет по практическому заданию.

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- коллоквиум;
- отчет по практическому заданию.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. . Расчёт рабочего процесса ГТД с помощью единой виртуальной модели его рабочего процесса. Самара: Изд-во СГАУ, 2013, эл. рес.
2. А. М. Кузьмин, А. И. Мустейкис. . Расчёт напряжённо-деформированного состояния оболочки камеры сгорания ракетного двигателя в среде ANSYS. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017, 36 экз.
3. Л. С. Шаблій, А. В. Кривцов, Д. А. Колмакова. . Компьютерное моделирование типовых гидравлических и газодинамических процессов двигателей и энергетических установок в ANSYS Fluent . Самара: Изд-во Самарск. ун-та, 2017, эл. рес.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

### 5.3. Периодические издания:

не требуются.

### 5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. <https://urait.ru> — Главная – Образовательная платформа Юрайт. Для вузов и ссузов.;
2. <http://e.lanbook.com> — ЭБС Лань;
3. <http://library.voenmeh.ru/jirbis2> — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

### Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;
- <http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

### Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. [http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=457](http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457) - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/>- КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

### 5.5. Программное обеспечение:

1. ANSYS 2020 R2.

### 5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.



## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Лекционные занятия:**

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

### **6.2. Практические занятия:**

1. ANSYS 2020 R2.

### **6.3. Прочее:**

1. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
2. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

### **Аннотация рабочей программы**

Дисциплина **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИКИ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ УЗЛОВ В ВРД** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению *24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей*. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космической техники БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:  
ПСК-1.10 Владеет САЕ системой на уровне, необходимом для выполнения работ по профилю.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с исследованием процессов высоконагруженных узлов ВРД; технологией расчёта рабочего процесса ВРД.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- коллоквиум;
- отчет по практическому заданию.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **3 з.е., 108 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**17 ч.**), практические занятия (**34 ч.**), самостоятельная работа студента (**57 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 51 ч. аудиторных занятий, и 57 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
<b>Раздел 1. CFD-моделирование.</b>		
Изучение материала по разделу	Л. С. Шаблий, А. В. Кривцов, Д. А. Колмакова. . Компьютерное моделирование типовых гидравлических и газодинамических процессов двигателей и энергетических установок в ANSYS Fluent : Самара: Изд-во Самарск. ун-та, 2017 (1) . Расчёт рабочего процесса ГТД с помощью единой виртуальной модели его рабочего процесса: Самара: Изд-во СГАУ, 2013 (1)	6
Итого по разделу 1		6
<b>Раздел 2. Построение 3D моделей.</b>		
Изучение материала по разделу.	. Расчёт рабочего процесса ГТД с помощью единой виртуальной модели его рабочего процесса: Самара: Изд-во СГАУ, 2013 (3)	8
Итого по разделу 2		8
<b>Раздел 3. Расчёта рабочего процесса ВРД.</b>		
Изучение материала по разделу. Подготовка отчета.	. Расчёт рабочего процесса ГТД с помощью единой виртуальной модели его рабочего процесса: Самара: Изд-во СГАУ, 2013 (2,4-7)	8
Итого по разделу 3		8
<b>Раздел 4. САЕ – проектирование.</b>		
Изучение материала по разделу. Подготовка отчета.	Л. С. Шаблий, А. В. Кривцов, Д. А. Колмакова. . Компьютерное моделирование типовых гидравлических и газодинамических процессов двигателей и энергетических установок в ANSYS Fluent : Самара: Изд-во Самарск. ун-та, 2017 (2)	8
Итого по разделу 4		8
<b>Раздел 5. Построение геометрии смесителя.</b>		
Изучение материала по разделу. Подготовка отчета.	Л. С. Шаблий, А. В. Кривцов, Д. А. Колмакова. . Компьютерное моделирование типовых гидравлических и газодинамических процессов двигателей и энергетических установок в ANSYS Fluent : Самара: Изд-во Самарск. ун-та, 2017 (3-4)	12
Итого по разделу 5		12
<b>Раздел 6. Построение геометрии камеры сгорания ВРД газогенератора.</b>		
Изучение материала по разделу. Подготовка отчета.	А. М. Кузьмин, А. И. Мустейкис. . Расчёт напряжённо-деформированного состояния оболочки камеры сгорания ракетного двигателя в среде ANSYS: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (3-6)	15

Итого по разделу 6	15
--------------------	----

## **ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

Фонд оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- диагностическая работа
- коллоквиум;
- отчет по практическому заданию;
- экзамен.

### **Критерии оценивания**

#### **Диагностическая работа**

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

- при правильном ответе менее чем на 60% вопросов - не аттестация;
- при правильном ответе на 60% вопросов и более - аттестация.

#### **Коллоквиум**

Коллоквиум включает в себя ответы студента на два теоретических вопроса по пройденному материалу. Коллоквиум считается сданным при ответе на два вопроса при степени полноты ответа не менее 50% по каждому.

Вопросы расположены в УМК дисциплины.

#### **Отчет по практическому заданию**

Отчет по практическому заданию представляется в печатном виде в формате, предусмотренном методическими указаниями к практической работе. Защита отчета проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя. Оценивается полнота и качество оформления отчета, соответствие заданию, верность полученных результатов, способность их объяснить.

Отчет принимается и работа считается выполненной при выполнении требований к оформлению отчета и получении не менее 60% правильных ответов на заданные вопросы преподавателя.

Варианты заданий представлены в УМК дисциплины.

#### **Экзамен**

Экзамен проводится в форме устных ответов на вопросы экзаменационного билета.

Оценка за экзамен выставляется по результатам ответов 2 вопроса экзаменационного билета:

«отлично» - полный ответ на 2 вопроса билета и возможные дополнительные вопросы;

«хорошо» - незначительные замечания на ответы по 2 основным вопросам и неполные ответы на дополнительные вопросы;

«удовлетворительно» - неполные ответы на 2 вопроса билета, отсутствие ответов на отдельные дополнительные вопросы;

«неудовлетворительно» - неполный ответ на один вопрос билета, отсутствие ответа на второй и дополнительные вопросы.

Перечень экзаменационных вопросов представлен в УМК дисциплины.

Паспорт фонда оценочных средств

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %	НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ПСК-1.10	
4	7	Раздел 1. CFD-моделирование.	8	2	2	0	6	15	Коллоквиум
4	7	Раздел 2. Построение 3D моделей.	10	2	2	0	8	15	Коллоквиум
4	7	Раздел 3. Расчёта рабочего процесса ВРД.	16	8	2	6	8	15	Отчет по практическому заданию
4	7	Раздел 4. CAE – проектирование.	19	11	3	8	8	20	Отчет по практическому заданию
4	7	Раздел 5. Построение геометрии смесителя.	28	16	4	12	12	15	Отчет по практическому заданию
4	7	Раздел 6. Построение геометрии камеры сгорания ВРД газогенератора.	27	12	4	8	15	20	Отчет по практическому заданию
Всего за 7 семестр			108	51	17	34	57	100	
Всего по дисциплине			108	51	17	34	57	100	

## Критерии оценивания

### ПСК-1.10

- Вопросы открытого типа:*
- № 1 Во время разработки рабочей конструкторской документации Вам необходимо произвести ряд расчётов в САЕ-системе. В каких расчётах рекомендуется применять модель турбулентности Realizable  $k-\epsilon$  ?
- № 2 Какой носит характер течение воздуха в трубопроводах?
- № 3 Во время разработки рабочей конструкторской документации Вам необходимо произвести ряд расчётов в САЕ-системе. В каких расчётах рекомендуется применять модель турбулентности RSM?
- № 4 Во время разработки рабочей конструкторской документации Вам необходимо оценить результаты ряда расчётов в САЕ-системе. Как осуществляется оценка результатов расчётов в САЕ системе?
- № 5 Во время разработки рабочей конструкторской документации Вам необходимо произвести ряд расчётов в САЕ-системе. В каких расчётах рекомендуется применять модель турбулентности Standard  $k-\epsilon$  ?
- № 6 Уравнение моментов количества движения применительно к лопаточным машинам устанавливает связь работы передаваемой лопатками потоку (в компрессоре) или отбираемой ими (для турбины) с чем?
- № 7 Течение газа в сопле Лавала на сверхкритическом режиме является сжимаемым?
- № 8 Во время подготовки проектной документации Вам необходимо спроектировать элементы изделия подходом «сверху вниз». На чём строится подход к проектированию сборочных единиц «сверху вниз»?
- № 9 В какой части ГТД происходит преобразование химической энергии в тепловую?
- № 10 Что представляют собой автономные испытания узлов ГТД ?
- Вопросы закрытого типа:*
- № 1 Какие методы используются для моделирования газодинамики высоконагруженных узлов в ВРД?
- метод конечных элементов
  - метод контрольных объемов
  - метод крупных частиц
- все перечисленные
- № 2 Какие физические явления необходимо учитывать при моделировании газодинамики высоконагруженных узлов в ВРД?
- турбулентность
  - теплообмен
  - химические реакции
  - все перечисленные
- № 3 Что утверждает гипотеза Прандтля в пограничном слое?
- Силы инерции имеют больший порядок, чем силы вязкого трения в пограничном слое (в направлении продольной координаты в пограничном слое)
- Силы инерции и вязкого трения в пограничном слое имеют одинаковый порядок (в направлении продольной координаты в пограничном слое)
- № 4 Что показывает число Рейнольдса?
- Отношение сил инерции к силе тяжести
  - Отношение сил инерции к силам вязкого трения
- № 5 Что необходимо учитывать при движении газа, кроме параметров состояния  $p, \omega, T$ ?

	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Скорость течения газа</li> <li>· Объем газа</li> </ul>
№ 6	<p>Плотность газа</p> <p>В случае осевых участков турбомашин (осевые турбомашин, вход в центробежную машину, выход из центробежной машины) она подчиняется нескольким правилам:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· на расчетном режиме входной лопаточный угол близок к углу потока в относительном движении входного треугольника.</li> <li>· на всех режимах выходной лопаточный угол осевых лопаточных машин незначительно отличается от угла потока в относительном движении выходного треугольника.</li> <li>· окружная скорость при неизменных размерах ЛМ зависит только от частоты вращения ротора.</li> </ul> <p>соотношение между величинами скоростей и определяется величиной степени реактивности</p>
№ 7	<p>Что такое относительная шероховатость труб?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Это отношение абсолютной шероховатости к радиусу или диаметру трубы</li> <li>· Это отношение радиуса трубы к абсолютной шероховатости</li> <li>· Это величина, которая характеризует толщину ламинарного слоя</li> </ul>
№ 8	<p>Это высота среднего выступа шероховатой поверхности</p> <p>Трубка пито в сверхзвуковом потоке измеряет</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Давление торможения потока прямым скачком уплотнения</li> <li>· Давление торможения набегающего потока</li> </ul>
№ 9	<p>Давление торможения потока за прямым скачком уплотнения</p> <p>Располагаемый теплоперепад в целом в турбине не равен сумме располагаемых теплоперепадов в её ступенях, вследствие того, что:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· температура (соответственно и энтальпия) газа на входе в каждую последующую ступень в реальном процессе выше, чем в идеальном, располагаемый теплоперепад в них соответственно повышается.</li> <li>· температура (соответственно и энтальпия) газа на входе в каждую последующую ступень в реальном процессе ниже, чем в идеальном, располагаемый теплоперепад в них соответственно понижается.</li> </ul> <p>температура (соответственно и энтальпия) газа на входе в каждую последующую ступень в реальном процессе выше, чем в идеальном, располагаемый теплоперепад в них соответственно понижается.</p>
№ 10	<p>Из чего состоит ступень компрессора?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· из входного направляющего аппарата (ВНА), рабочего колеса (РК) и выходной системы.</li> <li>· из корпуса и турбины.</li> <li>· из улитки, лопаточного диффузора и рабочего колеса.</li> </ul> <p>из чередующихся подвижных лопаточных решёток ротора.</p>