

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_ Левихин А.А.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 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-космическая техника
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: 2026

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 Саваровский А.А., к.т.н. \_\_\_\_\_

Программа рассмотрена  
на заседании выпускающей кафедры

**А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Заведующий кафедрой Саваровский А.А., к.т.н. \_\_\_\_\_

# **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;
- задает параметры среды для проведения расчета, накладывает граничные условия; обрабатывает результаты расчетов;

- умеет извлекать из массива данных информацию, влияющую на решение, в т.ч. используя ТРИЗ-практики;

- способен к экспериментальному моделированию процессов, протекающих в двигателе.;

*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);
- способен осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета, в т.ч. используя ТРИЗ-практики.;

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

### 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-космическая техника 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	. Расчёт рабочего процесса ГТД с помощью единой виртуальной модели его рабочего процесса: Самара: Изд-во СГАУ, 2013 (1) 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)	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. САЕ – 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	

**Оценочные материалы по дисциплине МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИКИ  
ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ УЗЛОВ В ВРД**

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

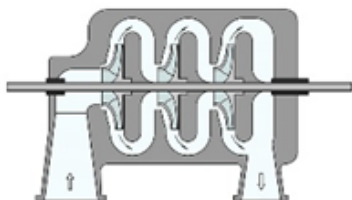
- № 1 Прочитайте текст и установите соответствие  
Соотнесите изображение компрессора с его типом

1)



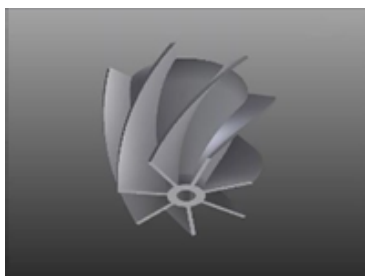
А) Осевой

2



Б) Центробежный

3)



В) Диагональный

Г) Центростремительный

- № 2 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ  
Течение газа в сопле Лавала на сверхкритическом режиме является сжимаемым?
- № 3 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ  
Для чего выполняется препарирование газотурбинного двигателя перед проведением стендового испытания?
- № 4 Прочитайте текст и установите соответствие  
Соотнесите программу с её назначение

- |                 |   |
|-----------------|---|
| 1) TurboGrid    | А) Специализированный сеточный генератор, предназначенный для работы с геометрией лопаток турбомашин  |
| 2) Fluent       | Б) Программный модуль для моделирования течений жидкостей и газов для промышленных задач с учетом турбулентности, теплообмена, химических реакций |
| 3) BladeModeler | В) Специализированный модуль, предназначенный для быстрого проектирования лопаточных венцов турбомашин  |
| 4) SpaceClaim   | Г) Многофункциональное приложение для трехмерного моделирования   |
|                 | Д) Инструмент, нацеленный на создание структурированных гексаэдрических сеток высокого качества.  |

- № 5 Прочитайте текст и установите последовательность  
Расставьте правильный порядок проведения моделирования течения в лопаточных машинах
- 1) Создание твердотельной модели венца лопаточной машины
  - 2) Подготовка сеточной модели
  - 3) Задание граничных условий
  - 4) Расчёт
  - 5) Постобработка результатов расчёта
- № 6 Прочитайте текст и установите последовательность  
Порядок подготовки твердотельной модели к САЕ-моделированию.
- 1 Упрощение геометрии модели: удаление фасок, скруглений, острых кромок
  - 2 Создание заглушек на входных и выходных отверстиях
  - 3 Извлечение внутреннего объёма
  - 4 Экспорт геометрии в формате, подходящем для САЕ-системы
- № 7 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
Какие методы используются для моделирования газодинамики высоконагруженных узлов в ВРД?
- 1) метод конечных элементов
  - 2) метод контрольных объемов
  - 3) метод крупных частиц
- № 8 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
Выберите формулу для расчета массового расхода воздуха через отверстие площадью S:

$$\begin{array}{l}
 1) \quad Q_m = \mu S p_1 \sqrt{\frac{2k}{(k-1)RT_1} \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \\
 2) \quad Q_m = \mu S p_1 \sqrt{\frac{2n}{(n-1)RT_1} \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{n}} - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n+1}{n}} \right]} \\
 3) \quad Q_m = \mu S p_1 \sqrt{\frac{2k}{(k-1)RT_1} \left[ \left( \frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{2}{k}} - \left( \frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}
 \end{array}$$

- № 9 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
Что утверждает гипотеза Прандтля в пограничном слое?
- 1) Силы инерции имеют больший порядок, чем силы вязкого трения в пограничном слое (в направлении продольной координаты в пограничном слое)
  - 2) Силы инерции и вязкого трения в пограничном слое имеют одинаковый порядок (в направлении продольной координаты в пограничном слое)
- № 10 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
Что такое относительная шероховатость труб?
- 1) Это отношение абсолютной шероховатости к радиусу или диаметру трубы
  - 2) Это отношение радиуса трубы к абсолютной шероховатости



3) Это величина, которая характеризует толщину ламинарного слоя

4) Это высота среднего выступа шероховатой поверхности

№ 11 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Какие физические явления необходимо учитывать при моделировании газодинамики высоконагруженных узлов в ВРД?

1) турбулентность

2) теплообмен

3) химические реакции

№ 12 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Какие плюсы имеют Численные методы в сравнении с натурным экспериментом?

1) низкая стоимость

2) высокая скорость

3) полнота информации

4) отсутствие влияния человеческого фактора