

УТВЕРЖДАЮ
 Декан факультета

 Юнаков Л. П.
 (подпись) ФИО
 «___» _____ 20__

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ЛОПАТОЧНЫХ МАШИНАХ

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 ПРОЦЕССОВ В ЛОПАТОЧНЫХ МАШИНАХ

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 ПРОЦЕССОВ В ЛОПАТОЧНЫХ МАШИНАХ** 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, % ПСК-1.10
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		
4	7	Раздел 1. Введение. Первоначальные сведения о лопаточных машинах.	6	2	2	0	4	20
4	7	Раздел 2. Модели потока. Понятия об элементарной решетке профилей. Характерные сечения турбомашин и структура построения индексов. Одномерная модель потока в лопаточной машине. Трехмерная модель потока в лопаточной машине.	12	2	2	0	10	15
4	7	Раздел 3. Аэродинамическое проектирование. Требования, предъявляемые к лопаточным машинам. Аэродинамическое проектирование турбины. Этапы и ключевые технологии аэродинамического проектирования. Аэродинамическая оптимизация.	16	8	2	6	8	15
4	7	Раздел 4. Моделирование потока. Численное моделирование потока в турбине. Моделирование невязкого потока в турбине по уравнениям Эйлера. 2D\3D моделирование вязкого потока в проточной части. Основы САЕ – проектирования.	23	11	3	8	12	15
4	7	Раздел 5. Проектирование турбины. Синтез геометрии профилей и лопаточных венцов. Одномерное проектирование турбины. Методы управления пространственным потоком в турбине. Развитие экспериментальной базы. Экспериментальное исследование турбины.	28	16	4	12	12	15
4	7	Раздел 6. Численное моделирование. Моделирования течения для разных типов турбомашин. Численное моделирование. Формирование модели охлаждения корпуса турбины с помощью универсального программного комплекса CFX.	23	12	4	8	11	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. Аэродинамическое проектирование.	Интерфейс САЕ – среды	6
2	Раздел 4. Моделирование потока.	Импортирование геометрии и работа с геометрией. Назначение физических и граничных условий	8
3	Раздел 5. Проектирование турбины.	Задание условий на расчет. Проведение расчета.	12
4	Раздел 6. Численное моделирование.	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. Введение.	Изучение материала по разделу	4
2	Раздел 2. Модели потока.	Изучение материала по разделу	10
3	Раздел 3. Аэродинамическое проектирование.	Изучение материала по разделу. Подготовка отчета.	8
4	Раздел 4. Моделирование потока.	Изучение материала по разделу. Подготовка отчета.	12
5	Раздел 5. Проектирование турбины.	Изучение материала по разделу. Подготовка отчета.	12
6	Раздел 6. Численное моделирование.	Изучение материала по разделу. Подготовка отчета.	11
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. А. Б. Прокофьев, В. Н. Матвеев, О. В. Батурин. . Математические модели потоков в лопаточных машинах двигателей и агрегатов летательных аппаратов. Самара: Изд-во Самарск. ун-та, 2021, эл. рес.
2. О. В. Батурин. . Лабораторный практикум по теории и расчёту лопаточных машин. Самара: СамГУ, 2019, эл. рес.
3. П. В. Пугачёв, Д. Г. Свобода, А. А. Жарковский. . Расчёт и проектирование лопастных гидромашин. Расчёт вязкого течения в лопастных гидромашинах с использованием пакета ANSYS CFX. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016, 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 - 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 ПРОЦЕССОВ В ЛОПАТОЧНЫХ МАШИНАХ** 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 моделированием процессов лопаточных машин (турбин, компрессоров), использованием современных программных средств, изучением вопросов построения геометрии, задании граничных условий, анализа полученных результатов».

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.
Раздел 1. Введение.		
Изучение материала по разделу	О. В. Батурин. . Лабораторный практикум по теории и расчёту лопаточных машин: Самара: СамГУ, 2019 (1)	4
Итого по разделу 1		4
Раздел 2. Модели потока.		
Изучение материала по разделу	О. В. Батурин. . Лабораторный практикум по теории и расчёту лопаточных машин: Самара: СамГУ, 2019 (2)	10
Итого по разделу 2		10
Раздел 3. Аэродинамическое проектирование.		
Изучение материала по разделу. Подготовка отчета.	О. В. Батурин. . Лабораторный практикум по теории и расчёту лопаточных машин: Самара: СамГУ, 2019 (1-2)	8
Итого по разделу 3		8
Раздел 4. Моделирование потока.		
Изучение материала по разделу. Подготовка отчета.	А. Б. Прокофьев, В. Н. Матвеев, О. В. Батурин. . Математические модели потоков в лопаточных машинах двигателей и агрегатов летательных аппаратов: Самара: Изд-во Самарск. ун-та, 2021 (1)	12
Итого по разделу 4		12
Раздел 5. Проектирование турбины.		
Изучение материала по разделу. Подготовка отчета.	О. В. Батурин. . Лабораторный практикум по теории и расчёту лопаточных машин: Самара: СамГУ, 2019 (3-6)	12
Итого по разделу 5		12
Раздел 6. Численное моделирование.		
Изучение материала по разделу. Подготовка отчета.	А. Б. Прокофьев, В. Н. Матвеев, О. В. Батурин. . Математические модели потоков в лопаточных машинах двигателей и агрегатов летательных аппаратов: Самара: Изд-во Самарск. ун-та, 2021 (2-8) П. В. Пугачёв, Д. Г. Свобода, А. А. Жарковский. . Расчёт и проектирование лопастных гидромашин. Расчёт вязкого течения в лопастных гидромашинах с использованием пакета ANSYS CFX: СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016 (1-5)	11

Итого по разделу 6	11
--------------------	----

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 к коллоквиуму 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. Введение.	6	2	2	0	4	20	Коллоквиум
4	7	Раздел 2. Модели потока.	12	2	2	0	10	15	Коллоквиум
4	7	Раздел 3. Аэродинамическое проектирование.	16	8	2	6	8	15	Отчет по практическому заданию
4	7	Раздел 4. Моделирование потока.	23	11	3	8	12	15	Отчет по практическому заданию
4	7	Раздел 5. Проектирование турбины.	28	16	4	12	12	15	Отчет по практическому заданию
4	7	Раздел 6. Численное моделирование.	23	12	4	8	11	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 Течение газа в сопле Лавалья на сверхкритическом режиме является сжимаемым?
- № 2 Во время разработки рабочей конструкторской документации Вам необходимо произвести ряд расчётов в САЕ-системе. В каких расчётах рекомендуется применять модель турбулентности Realizable $k-\epsilon$?
- № 3 Какой носит характер течение воздуха в трубопроводах?
- № 4 Во время разработки рабочей конструкторской документации Вам необходимо произвести ряд расчётов в САЕ-системе. В каких расчётах рекомендуется применять модель турбулентности RSM?
- № 5 Во время разработки рабочей конструкторской документации Вам необходимо оценить результаты ряда расчётов в САЕ-системе. Как осуществляется оценка результатов расчётов в САЕ системе?
- № 6 Во время подготовки проектной документации Вам необходимо спроектировать элементы изделия подходом «сверху вниз». На чём строится подход к проектированию сборочных единиц «сверху вниз»
- № 7 Во время разработки рабочей конструкторской документации Вам необходимо произвести ряд расчётов в САЕ-системе. В каких расчётах рекомендуется применять модель турбулентности Standard $k-\epsilon$?
- № 8 В какой части ГТД происходит преобразование химической энергии в тепловую?
- № 9 Для чего выполняется препарирование газотурбинного двигателя перед проведением стендового испытания?
- № 10 Уравнение моментов количества движения применительно к лопаточным машинам устанавливает связь работы передаваемой лопатками потоку (в компрессоре) или отбираемой ими (для турбины) с чем?

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 такое относительная шероховатость труб?
 - Это отношение абсолютной шероховатости к радиусу или диаметру трубы
 - Это отношение радиуса трубы к абсолютной шероховатости
 - Это величина, которая характеризует толщину ламинарного слоя
- № 4 Это высота среднего выступа шероховатой поверхности
Скачки уплотнения возникают в:
 - Сверхзвуковом установившемся потоке
 - Дозвуковом установившемся потоке

- Сверхзвуковом несжимаемом потоке
- № 5 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)
- № 6 Трубка пито в сверхзвуковом потоке измеряет
- Давление торможения потока прямым скачком уплотнения
 - Давление торможения набегающего потока
- Давление торможения потока за прямым скачком уплотнения
- № 7 Что показывает число Рейнольдса?
- Отношение сил инерции к силе тяжести
- Отношение сил инерции к силам вязкого трения
- № 8 Что необходимо учитывать при движении газа, кроме параметров состояния p , ω , T ?
- Скорость течения газа
 - Объем газа
- Плотность газа
- № 9 По какой формуле определяется перепад давления на трение по длине трубопровода?

- $\Delta p_{тр} = p_1 - p_2 = \lambda \frac{l}{d} \frac{v_{cp}^2}{2} \rho_{cp}$
- $\Delta p_{тр} = \lambda \frac{l}{d} \frac{v_{cp}^2}{2}$
- $\Delta p_{тр} = \frac{l}{d} \frac{v_{cp}^2}{2} \rho_{cp}$

- № 10 Выберите формулу для расчета массового расхода воздуха через отверстие площадью S :

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