

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Б1.В.ДВ.01.02
(индекс дисциплины)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Газовая динамика

(наименование дисциплины)

по направлению подготовки (специальности)

13.03.03 Энергетическое машиностроение

(код и наименование направления подготовки, специальности в соответствии с ФГОС ВПО/ ФГОС ВО)

Альтернативные источники энергии транспортных средств

(направленность (профиль)/специализация)

Форма обучения: очная

Год набора: 2018

Распределение часов дисциплины по семестрам и видам занятий (по учебному плану)

Количество ЗЕТ	5											
Часов по РУП	180											
Виды контроля в семестрах:	Экзамены			Зачеты			Курсовые проекты		Курсовые работы		Контрольные работы (для заочной формы обучения)	
				7								
	№№ семестров											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Итого
ЗЕТ по семестрам						5					5	
Лекции						34					34	
Лабораторные												
Практические						18					18	
Контактная работа						52					52	
Сам. работа						128					128	
Контроль												
Итого						180					180	

Тольятти, 2018

Рабочая программа составлена на основании ФГОС ВО и учебного плана направления подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение

Альтернативные источники энергии транспортных средств

(код и наименование направления подготовки, специальности в соответствии с ФГОС ВПО/ ФГОС ВО)

Рецензирование рабочей программы дисциплины:

☐

Отсутствует

☐

Учебная (рабочая) программа одобрена на заседании кафедры ЭМиСУ (протокол заседания № __ от «__» _____ 20__ г.).

☐

Рецензент

(должность, ученое звание, степень)

«__» _____ 20__ г.

(подпись)

(И.О. Фамилия)

Срок действия рабочей программы дисциплины до «__» _____ 20__ г.

Информация об актуализации рабочей программы дисциплины:

Протокол заседания кафедры № __ от «__» _____ 20__ г.

Протокол заседания кафедры № __ от «__» _____ 20__ г.

Протокол заседания кафедры № __ от «__» _____ 20__ г.

Протокол заседания кафедры № __ от «__» _____ 20__ г.

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой «Энергетические машины и системы управления»

(выпускающей направление (специальность))

«__» _____ 20__ г.

(подпись)

Д.А.Павлов

(И.О. Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой «Энергетические машины и системы управления»

(разработавшей РПД)

«__» _____ 20__ г.

(подпись)

Д.А.Павлов

(И.О. Фамилия)

АННОТАЦИЯ
дисциплины (учебного курса)
Б1.В.ДВ.01.02 Газовая динамика

(индекс и наименование дисциплины (учебного курса))

1. Цель и задачи изучения дисциплины (учебного курса).

1. Цель и задачи изучения дисциплины (учебного курса)

Цель – формирование у студентов представления о физических состояниях жидкостей и газов при равновесном и подвижном состояниях, а также использование закономерностей равновесия и движения жидкостей для решения прикладных инженерных задач.

Задачи:

1. Дать представление о физических состояниях и закономерностях равновесия и процессов движения жидкостей и газов на основе математического и экспериментального анализа.

2. Ознакомить студентов с методами исследования законов движения газов.

3. Формировать у студентов инженерный подход к решению прикладных задач требующих применения гидро-газодинамических законов.

2. Место дисциплины (учебного курса) в структуре ОПОП ВО

Данная дисциплина (учебный курс) относится к Блоку 1 «Дисциплины (модули)» (вариативная часть, дисциплины по выбору).

Дисциплины, учебные курсы, на освоении которых базируется данная дисциплина – «Математика», «Физика», «Механика».

Дисциплины, учебные курсы, для которых необходимы знания, умения, навыки, приобретаемые в результате изучения данной дисциплины – «Безопасность жизнедеятельности», «Теория рабочего процесса», «Математические методы моделирования рабочего процесса силовых установок», и т.п.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (учебному курсу), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Формируемые и контролируемые компетенции	Планируемые результаты обучения
- способность к конструкторской деятельности (ПК-1)	Знать: физическую сущность законов газов в автомобилестроении; методы и средства познания, обучения и самоконтроля для приобретения новых знаний и умений, непосредственно связан-

	ных с приобретаемой специальностью.
	Уметь: Произвести расчет параметров газов при эксплуатации транспортных средств, механизмов и энергетических машин, осуществлять научную деятельность.
	Владеть: Способами, процедурами и процессами моделирования газодинамических явлений по совершенствованию работы наземных транспортно-технологических средств, энергетических машин и механизмов.
- готовность разрабатывать и применять энергоэффективные машины, установки, двигатели и аппараты по производству, преобразованию и потреблению различных форм энергии (ПК-9)	Знать: структуру и физический смысл основных уравнений сохранения и применять их для анализа конкретных случаев течения газов
	Уметь: представлять себе теоретические экспериментальные методы решения газодинамических задач, определять параметры потоков при различных условиях течения рассчитывать параметры в ударных волнах, представлять особенности математического моделирования процессов газообмена
	Владеть: основами теории лопаточных машин теориями газовых струй эжектирования особенностями поведения сверхзвуковых потоков

Тематическое содержание дисциплины (учебного курса)

Раздел, модуль	Подраздел, тема
Основные понятия и законы газодинамики	Законы газодинамики и методы их решения. Теоретическая основа газодинамики уравнения Навье Стокса. Применение уравнения неразрывности состояния адиабаты уравнения Бернулли в различных формах скорость распространения в газах Число Маха. Понятие до звукового, звукового и сверхзвукового режимов движения газа
Понятие заторможенного газа	Свойства газов. Силы, действующие в газах методы изучения движения в газах интенсивность изменения температуры, давления, плотности, скорости звука с изменением скорости газа. Понятие об энтропии. Условия постоянства или возрастания энтропии. Изозэнтропический процесс
Истечение газа из бака	Понятие истечения газа и примеры этого явления из теории двигателей. Формула Сен-Венана и Вантцеля. Зависимость скорости истечения от параметров в нутрии бака противодавления. Условие получения сверх звуковой скорости на выходе из сопла Лаваля.
Методы предотвращения отрыва пограничного слоя	Течение газов через сопла и диффузоры. Расчетный и нерасчетный режимы истечения. Сопла с косым срезом. Диффузорные течения, характеристики диффузоров и их расчет
Турбулентность	Турбулентность и понятия турбулентности. Динамика развития турбулентности, её моделирования в турбулентности
Течение газов с трением	Газовая динамика одномерных потоков. Числа подобия и газодинамические функции. Одномерные течения при различных мерных воздействиях. Закон обращения воздействий и его частные случаи
Принципы профилирова-	Элементы теории лопаточных машин течение газа в проточной

ния проточной части лопаточных машин	части лопаточных машин. Преобразование энергии в проточной части и газодинамические потери.
Моделирование газодинамических процессов ДВС	Система дифференциальных уравнений одномерной математической модели не стационарных процессов газообмена и методы её решения. Разрывные течения.
Газовая динамика процессов горения	Общие положения. Скорость химических реакций окисления. Понятия фронта пламени. Ламинарное пламя и скорость его распространения. Моделирование процессов распространения пламени в ДВС.
Элементы теории пограничного слоя.	Элементы теории пограничного слоя. Понятия пограничного слоя, характерные толщины. Ламинарный пограничный слой. Турбулентный пограничный слой.

Общая трудоемкость дисциплины (учебного курса) – 5 ЗЕТ.

4. Структура и содержание дисциплины (учебного курса) Газовая динамика

(наименование дисциплины (учебного курса))

Семестр изучения 7

Раздел, модуль	Подраздел, тема	Виды учебной работы							Необходимые материально- технические ресурсы	Формы текущего контроля (наимено- вание оце- ночного средства)	Рекоменду- емая лите- ратура (№)
		Контактная работа (в часах)					Самостоятельная работа				
		всего			в т.ч. в интерак- тивной форме	Формы проведения лекций, лабораторных, практических занятий, методы обучения, реализующие применяемую образовательную технологию	в часах	формы организации самостоятельной работы			
		лекций	лабораторных	практических							
Лекция №1 Основные понятия и законы га- зодинамики	Законы газо- динамики и методы их ре- шения. Теоре- тическая осно- ва газодинами- ки уравнения Навье Стокса. Применение уравнения не- разрывности состояния адиабаты уравнения Бернулли в различных формах ско- рость распро- странения в газах Число Маха. Понятие до звукового,	4			1	Традиционная с при- менении -ем мультимедиа ауд. Б-214 Наглядные пособия		Поиск дополни- тельной инфор- мации	Мультимедий- ный проектор, ноутбук	кон- троль за ходом выпол- нения СР и практи- ческих занятий, (разно- уровне- вые за- дачи)	№1-№6 осн. №1-№8 доп

	звукового и сверхзвукового режимов дви- жения газа										
Лекция №2 <i>Понятие затормо- женного га- за</i>	Свойства га- зов. Силы , действующие в газах методы изучения дви- жения в газах интенсивность изменения температуры, давления, плотности, скорости звука с изменением скорости газа. Понятие об энтропии. Условия по- стоянства или возрастания энтропии. Изо- энтропический процесс	4			1	Традиционная с при- менении -ем мультимедиа ауд. Б-214 Наглядные пособия		Поиск дополни- тельной инфор- мации	Мультимедий- ный проектор, ноутбук	кон- троль за ходом выпол- нения СР и практи- ческих занятий, (разно- уровне- вые за- дачи)	№1-№6 осн. №1-№8 доп
Лекция №3 <i>Истечение газа из бака</i>	Понятие исте- чения газа и примеры этого явления из теории двига- телей. Форму- ла Сен-Венана	4			1	Традиционная с при- менении -ем мультимедиа ауд. Б-214 Наглядные пособия		Поиск дополни- тельной инфор- мации	Мультимедий- ный проектор, ноутбук	кон- троль за ходом выпол- нения СР и практи-	№1-№6 осн. №1-№8 доп

	и Вантцеля. Зависимость скорости истечения от параметров внутри бака противодавления. Условие получения сверхзвуковой скорости на выходе из сопла Лаваля.									ческих занятий, (разноуровневые задачи)	
Лекция №4 <i>Методы предотвращения отрыва пограничного слоя</i>	Течение газов через сопла и диффузоры. Расчетный и нерасчетный режимы истечения. Сопла с косым срезом. Диффузорные течения, характеристики диффузоров и их расчет	2			1	Традиционная с применением мультимедиа ауд. Б-214 Наглядные пособия		Поиск дополнительной информации	Мультимедийный проектор, ноутбук	контроль за ходом выполнения СР и практических занятий, (разноуровневые задачи)	№1-№6 осн. №1-№8 доп
Лекция №5 <i>Турбулентность</i>	Турбулентность и понятия турбулентности. Динамика развития турбулентности, её моде-	2			1	Традиционная с применением мультимедиа ауд. Б-214 Наглядные пособия		Поиск дополнительной информации	Мультимедийный проектор, ноутбук	контроль за ходом выполнения СР и практи-	№1-№6 осн. №1-№8 доп

	лирования в турбулентности									ческих занятий, (разноуровневые задачи)	
Лекция №6 <i>Течение газов с трением</i>	Газовая динамика одномерных потоков. Числа подобия и газодинамические функции. Одномерные течения при различных мерных воздействиях. Закон обращения воздействий и его частные случаи	4			1	Традиционная с применением -ем мультимедиа ауд. Б-214 Наглядные пособия		Поиск дополнительной информации	Мультимедийный проектор, ноутбук	контроль за ходом выполнения СР и практических занятий, (разноуровневые задачи)	№1-№6 осн. №1-№8 доп
Лекция №7 <i>Принципы профилирования проточной части лопаточных машин</i>	Элементы теории лопаточных машин течение газа в проточной части лопаточных машин. Преобразование энергии в проточной части и газодинамические	4			1	Традиционная с применением -ем мультимедиа ауд. Б-214 Наглядные пособия		Поиск дополнительной информации	Мультимедийный проектор, ноутбук	контроль за ходом выполнения СР и практических занятий, (разноуровневые за-	№1-№6 осн. №1-№8 доп

	потери.									дачи)	
Лекция №8 <i>Моделирование газодинамических процессов ДВС</i>	Система дифференциальных уравнений одномерной математической модели нестационарных процессов газообмена и методы её решения. Разрывные течения.	4			1	Традиционная с применением -ем мультимедиа ауд. Б-214 Наглядные пособия		Поиск дополнительной информации	Мультимедийный проектор, ноутбук	контроль за ходом выполнения СР и практических занятий, (разноровневые задачи)	№1-№6 осн. №1-№8 доп
Лекция №9 <i>Газовая динамика процессов горения</i>	Общие положения. Скорость химических реакций окисления. Понятия фронта пламени. Ламинарное пламя и скорость его распространения. Моделирование процессов распространения пламени в ДВС.	4			1	Традиционная с применением -ем мультимедиа ауд. Б-214 Наглядные пособия		Поиск дополнительной информации	Мультимедийный проектор, ноутбук	контроль за ходом выполнения СР и практических занятий, (разноровневые задачи)	№1-№6 осн. №1-№8 доп
Лекция №10 <i>Элементы</i>	Элементы теории пограничного слоя. По-	2			1	Традиционная с применением -ем мультимедиа		Поиск дополнительной информации	Мультимедийный проектор, ноутбук	контроль за ходом	№1-№6 осн. №1-№8

<i>теории пограничного слоя.</i>	нения пограничного слоя, характерные толщины. Ламинарный пограничный слой. Турбулентный пограничный слой.					ауд. Б-214 Наглядные пособия				выполнения СР и практических занятий, (разноуровневые задачи)	доп
Практическое занятие №1	Исследование истечения газа через сужающегося сопло			2		Традиционная с применением -ем мультимедиа ауд. Б-214 Наглядные пособия		Поиск дополнительной информации	Спец. Лаб. оборудование		№1-№6 осн. №1-№8 доп
Практическое занятие №2	Исследование работы ступени эжектора			2		Традиционная с применением -ем мультимедиа ауд. Б-214 Наглядные пособия		Поиск дополнительной информации	Спец. Лаб. оборудование		№1-№6 осн. №1-№8 доп
Практическое занятие №3	Определение вихревого отношения в цилиндре ДВС			2		Традиционная с применением -ем мультимедиа ауд. Б-214 Наглядные пособия		Поиск дополнительной информации	Спец. Лаб. оборудование		№1-№6 осн. №1-№8 доп
Практическое занятие №4	Определение скорости распространения ламинарного пламени			2		Традиционная с применением -ем мультимедиа ауд. Б-214 Наглядные пособия		Поиск дополнительной информации	Спец. Лаб. оборудование		№1-№6 осн. №1-№8 доп
Практическое занятие	Исследование отражения			2		Традиционная с применением		Поиск дополнительной информации	Спец. Лаб. оборудование		№1-№6 осн.

тие №5	волн сжатия и разрежения от открытого конца трубопровода					-ем мультимедиа ауд. Б-214 Наглядные пособия		мации			№1-№8
Практическое занятие №6	Истечение газа из бака. Неизэнтропическое движение газа по трубе при наличии сопротивления трения			2		Традиционная с применением -ем мультимедиа ауд. Б-214 Наглядные пособия		Поиск дополнительной информации	Спец. Лаб. оборудование		№1-№6 осн. №1-№8 доп
Практическое занятие №7	Условия перехода от звукового течения к сверхзвуковому и обратно			2		Традиционная с применением -ем мультимедиа ауд. Б-214 Наглядные пособия		Поиск дополнительной информации	Спец. Лаб. оборудование		№1-№6 осн. №1-№8 доп
Практическое занятие №8	Расчет газовых течений с помощью газодинамических функция			2		Традиционная с применением -ем мультимедиа ауд. Б-214 Наглядные пособия		Поиск дополнительной информации	Спец. Лаб. оборудование		№1-№6 осн. №1-№8 доп
Практическое занятие №9	Движение подогреваемого газа по трубе постоянного сечения			2		Традиционная с применением -ем мультимедиа ауд. Б-214 Наглядные пособия		Поиск дополнительной информации	Спец. Лаб. оборудование		№1-№6 осн. №1-№8 доп
Итого: 52		34		18	10						

5. Критерии и нормы текущего контроля и промежуточной аттестации

Формы текущего контроля	Условия допуска	Критерии и нормы оценки
Текущий опрос	Наличие текущих оценок	По итогам работы в семестре

Форма проведения промежуточной аттестации	Условия допуска	Критерии и нормы оценки	
Преподавание дисциплины «Газовая динамика» непрерывно сопровождается текущим контролем знаний студентов, способствующим активизации их работы по усвоению знаний и приобретению умений и навыков, который завершается аттестацией в виде зачета 7 семестра устно.	Контрольная работа осуществляется самостоятельно, наличие выполненных 9 практических занятий. Зачет проводится устно.	«зачтено»	Теоретическое содержание курса освоено полностью, необходимые практические компетенции в основном сформированы. Обучающийся твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос .
		«не зачтено»	Обучающийся не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, не может увязать теорию с практикой.

6. Критерии и нормы оценки курсовых работ (проектов)

По учебному курсу данный подраздел не предусмотрен

7. Примерная тематика письменных работ (курсовых, рефератов, контрольных, расчетно-графических и др.)

Самостоятельная работа

«Расчет сопла Лавалья»

Варианты №1-№30

Словарь основных терминов

Уравнение Навье Стокса- теоретическая основа газодинамики.

Идеальный газ – газ, в котором вязкость равна 0

Критерий Маха(M)- отношение скорости движения газа к местной скорости звука.

Скоростной коэффициент (λ) – отношение скорости движения газа к критической скорости

Критическая скорость движения газа – скорость, равная местной скорости звука

Максимальная скорость – скорость истечения через сопло при истечении в абсолютный вакуум. Максимальная сверхзвуковая теоретическая скорость может быть получена при истечении через насадки, поперечное сечение которых в начале уменьшается, а затем возрастает. (Сопло Лавалья)

Одномерное движение газа – параметры изменяются вдоль одной координаты.

Ударные волны – сильные возмущения, при которых параметры потока претерпевают конечные разрывы.

Адиабата Гюгонио – дает связь между давлением и плотностью при движении газа со скачками уплотнения

Сопло Лавалья — техническое приспособление, которое служит для ускорения газового потока проходящего по нему до скоростей, превышающих скорость звука. Широко используется на некоторых типах паровых турбин и является важной частью современных ракетных двигателей и сверхзвуковых реактивных авиационных двигателей.



Сопло представляет собой канал, суженный в середине. В простейшем случае такое сопло может состоять из пары усечённых конусов, сопряжённых узкими концами. Эффективные сопла современных ракетных двигателей профилируются на основании специальных газодинамических расчётов.

С учётом этого, а также с учётом стационарности и одномерности потока уравнение Эйлера принимает вид:

$$v \frac{dv}{dx} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{dp}{dx} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{dp}{d\rho} \cdot \frac{d\rho}{dx} = -\frac{C^2}{\rho} \cdot \frac{d\rho}{dx}$$

что, учитывая (1), преобразуется в (2)

$$\frac{1}{\rho} \cdot \frac{d\rho}{dx} = -M^2 \cdot \frac{1}{v} \cdot \frac{dv}{dx}$$

Уравнение (2) является ключевым в данном рассуждении.

Рассмотрим его в следующей форме: (2.1)

$$\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dx} / \frac{1}{v} \frac{dv}{dx} = -M^2$$

Иллюстрация работы сопла Лавала. По мере движения газа по соплу, его абсолютная температура T и давление P снижаются, а скорость V возрастает. M — число Маха.

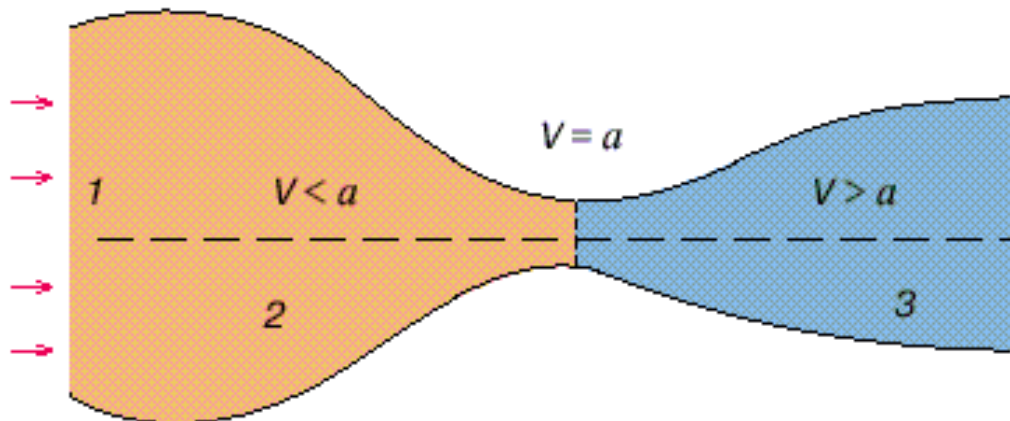
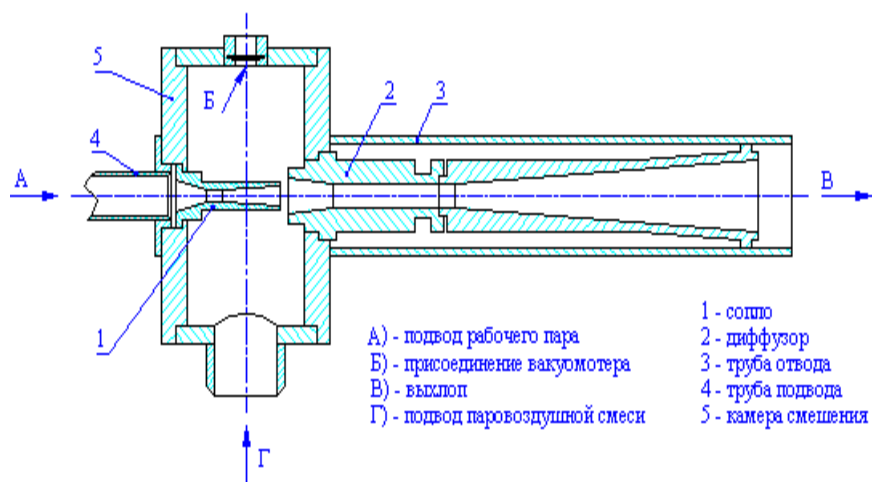


Рис. 2. Схема течения в сопле Лавала: 1 – бак, называемый ресивером, в который с малой скоростью подается очень горячий воздух, 2 – область геометрического поджатия канала с целью ускорения дозвукового потока газа, 3 – область геометрического расширения канала с целью ускорения сверхзвукового потока.



Пароструйный эжектор — аппарат, использующий энергию струи пара для отсасывания жидкости, пара или газа из замкнутого пространства. Пар, выходящий из сопла с большой скоростью, увлекает через кольцевое сечение вокруг сопла перемещаемое вещество. Использовался на судах для быстрого отливания воды.





8. Вопросы к зачету

№ п/п	Вопросы
1	Модель какой жидкости рассматривается в газодинамике
2	Что является теоретической основой газодинамики
3	Какие параметры движущегося газа рассматриваются в газодинамике.
4	По какому закону происходит изменения параметров газодинамики.
5	Какая скорость звука подразумевается в газодинамике.
6	В чем отличие уравнение Эйлера и Бернулли
7	Когда можно исключить температуру жидкости из рассмотрения в газодинамике.
8	В чем отличие начальных условий от граничных.
9	Как изменяется энтропия при течение невязкого сжимаемого газа
10	Как оценивается сила тяжести в газодинамике.
11	По каким параметрам можно определить какой газ
12	Какой газ можно называть заторможенным
13	Связана ли скорость звука в газе со скоростью его движения.
14	Как изменяется температура газа при его торможение
15	Как изменяется статическое давление при торможении газа
16	Как изменяется плотность газа при его торможении.
17	Как изменяется скорость звука в газе при его торможении.
18	Связаны ли параметры торможения с критическими параметрами.
19	В каких пределах изменяется критерий Маха и скоростной коэффициент λ
20	Чему равен критерий M и λ при заклинивании сопла
21	Чем объясняется явление заклинивание сопла
22	Как связаны максимальная и критическая скорость истечения газа

23	Увеличивается ли расход газа через сопло при добавлении расширяющейся части.
24	Вид уравнения состояния
25	Вид уравнения неразрывности
26	Какой параметр изменяется в большей степени при торможении газа
27	С какой скоростью распространяются в газе малые упругие возмущения
28	Как изменяется скорость газа с изменением площади сечения канала, если $M > 1$
29	Как изменяется температура торможения в цилиндрической трубе при учете сил трения
30	Как изменяются параметры газа при прямом скачке
31	Для определение какого параметра газа применяется формула Прантля
32	Какие параметры торможение не претерпевают разрывы на скачке уплотнения
33	Как изменяется энтропия при переходе через скачок уплотнения
34	Какова величина относительного изменения плотности газа в скачке
35	Какова скорость ударной волны
36	При каком сжатии ударном или адиабатическом, плотность увеличивается в большей степени
37	Каким способом можно получить сверхзвуковую скорость
38	Как изменяется скорость газа при его сжатие в компрессоре
39	Как изменяется скорость газа при расширение в турбине
40	Как изменяется скорость газа в цилиндрической трубе при нагреве газа
41	Как изменяется скорость газа в цилиндрической трубе при учете сил трения
42	Возможен ли переход через скорость звука подогревом газа

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

9.1. Паспорт фонда оценочных средств

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Законы газодинамики и методы их решения. Теоретическая основа газодинамики уравнения Навье Стокса. Применение уравнения неразрывности состояния адиабаты уравнения Бернулли в различных формах скорость распространения в газах Число Маха. Понятие до звукового, звукового и сверхзвукового режимов движения газа	ПК-1,9	Решение задач, тесты
2	Общие положения. Скорость химических реакций окисления. Понятия фронта пламени. Ламинарное пламя и скорость его распространения. Моделирование процессов распространения пламени в ДВС.	ПК-1,9	Решение задач, тесты
3	Элементы теории пограничного слоя. Понятия пограничного слоя, характерные толщины. Ламинарный пограничный слой. Турбулентный пограничный слой.	ПК-1,9	Решение задач, тесты, СР «Расчет сопла Лавалья»

9.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

9.2.1. Комплект заданий для практических занятий (решение задач)

Задание 1

Продукты сгорания вытекают через сопло Лавалья с числом $M=2,5$ во внешнюю среду, где давление $P_0=760$ мм.рт.ст. Температура потока в выходном сечении сопла 1725 К. Определить параметры газа в камере двигателя (p^*, T^*, c^*), если истечение расчетное без потерь, показатель адиабаты продуктов сгорания $k=1,25$, а газовая постоянная $R=343$ Дж/кгК.

Задание 2

На входе в диффузор двигателя дозвукового самолета, полное давление $p^*_1 = 1,9$ бар, а коэффициент скорости $\lambda_1 = 0,85$; известны также отношение площадей $F_2/F_1 = 2,7$ и коэффициент восстановления давления $y = p^*_2/p^*_1 = 0,94$. Определить приведенную скорость λ_2 и статическое давление p_2 в конце диффузора.

Задание 3

Газообразный водород ($m = 86,6 \cdot 10^{-6}$ пз) перекачивается по горизонтальной трубе диаметром 50 мм с расходом 0,7 л/с при температуре 295 К. В начальном сечении трубы давление $p_1 = 2,5 \cdot 10^5$ Па. Какое давление в конце трубопровода длиной 200 м?

Задание 4

Построить профиль сопла Лавалья для получения на расчетном режиме числа Маха 5,4 при расходе 115 кг/с. Построить график изменения давления на срезе сопла при изменении перепада давления на сопло. $k = 1,33$, $R = 287 \text{ Дж/кгК}$. Температура потока перед соплом $T^* = 650$ К.

Решение

Давление торможения на входе в сопло в расчетном режиме (давление на выходе равно 0,02 МПа) принимаем равным $P_0 = 10$ МПа.

Расчет критических параметров

1. Критическая температура:
2. Критическое давление найдем по величине давлению на входе
3. Плотность газа в критическом сечении:
4. Скорость в критическом сечении:
5. Из уравнения расхода можно найти площадь сопла в критическом сечении:
6. Диаметр критического сечения

Параметры на выходе:

6. Зная число Маха на выходе и параметры торможения, можно найти коэффициент скорости на выходе.
7. Скорость потока на выходе:
8. Давление на выходе:
9. Температура на выходе
10. Площадь сечения сопла Лавалья на выходе или входе зависит от коэффициента скорости:

11. Диаметр сопла на выходе

Параметры на входе

11. Давление и температура на входе приблизительно равны давлению торможения, так как скорость входного потока мала.

12. Плотность потока на входе:
13. Скорость звука на входе в сопло
14. Площадь сечения на входе зависит от входной скорости:

Пусть скорость на входе равна 20 м/с

15. Тогда входной диаметр
16. Число Маха на входе

Параметры входного и критического сечений:

сечение	T, К	P, МПа	ρ , кг/м ³	W, м/с	a, м/с	M	f, м ²	r, м
входное	649	9,99	53,6	20	498,1	0,04	0,107	0,093
критич.	558	5,4	33,72	461,5	461,5	1	0,00738	0,0752

Расчет профиля конфузора

16. Длина конфузора

17. Значения радиусов также найдем по формуле Витошинского, где

Рассчитываем значения радиусов по длине l с шагом $h = l/20 = 0.00459$ м.

x	r	x	r
0	0,0925	0,05049	0,080335
0,00459	0,092323	0,05508	0,079222
0,00918	0,091805	0,05967	0,078243
0,01377	0,090981	0,06426	0,077403
0,01836	0,089903	0,06885	0,076704
0,02295	0,088635	0,07344	0,076145
0,02754	0,087242	0,07803	0,075721
0,03213	0,085788	0,08262	0,075427
0,03672	0,084329	0,08721	0,075256
0,04131	0,082911	0,0918	0,0752
0,0459	0,081571		

Расчет диффузора. Приняв, что диффузор конический (угол раскрытия 10°), найдем его длину.

Вычисляем радиусы профиля, начиная от $x_0 = 0.0918$ и заканчивая $x = 0.0918 + 0.575 = 0,6668$ м с шагом $h_2 = 0.575/10 = 0.0575$ м.

x	r
0,0918	0,0752
0,1493	0,08026
0,2068	0,09038
0,2643	0,10556
0,3218	0,1258
0,3793	0,1511
0,4368	0,18146
0,4943	0,21688
0,5518	0,25736
0,6093	0,3029
0,6668	0,3535

Строим в Excel график профиля.

Давление на срезе сопла при изменении перепада давления на сопло.

Увеличение давления p_1 приводит к увеличению давления p_2 , пока не наступает режим недорасширения

Отклонение от расчетного режима при снижении p_1 (р.р.) приводит вначале к пропорциональному снижению давления p_2 при сохранении $p_c = \text{const}$. Число M_2 (и скорость c_2) остаются без изменения, а расход газа через сопло снижается пропорционально p_1 . Сопло переходит на режим перерасширения ($p_2 < p_H$). При глубоком перерасширении, когда давление p_2 становится существенно меньше p_H (примерно в 2...3 раза), происходит отрыв потока от стенок сопла. Давление окружающей среды проникает в зону отрывного течения, что повышает давление в выходном сечении сопла. При возникновении отрыва площадь струи на выходе из сопла сужается, скорость истечения c_2 и число M_2 уменьшаются. Схема течения газа в сопле Лаваля при отрыве потока приведена. Здесь до сечения отр.- отр. поток разгоняется и давление газа падает. При безотрывном течении давление продолжало бы уменьшаться вдоль сопла, как показано штриховой линией. Однако вследствие появления отрыва потока от стенок

происходит сужение струи и давление повышается до $p_2 \approx p_H$.

Физическая причина появления отрыва потока заключается в следующем. При реальном течении газа, вследствие влияния его вязкости, у стенок сопла скорость потока снижается от сверхзвуковой до нулевой скорости на поверхности стенки. Это снижение скорости наблюдается в тонкой пристеночной части потока, которую называют пограничным слоем. Давление внешней среды p_H , превышающее давление p_2 , может распространяться внутрь сопла только через пограничный слой, в котором имеет место дозвуковое течение. Отрыв потока происходит в результате сложного воздействия внешнего давления на течение газа в пограничном слое. По мере снижения давления p_1^* (и $p_{с.p.}$) сечение отр.-отр. перемещается к критическому сечению сопла. Характер изменения расхода газа при снижении p_1^* с отрывом потока в сопле не изменяется, т.к. появление отрыва не изменяет течение газа в критическом сечении сопла, которое, как указывалось выше, определяет расход газа.

Изменение давления окружающей среды p_H (и соответственно $p_{с.p.}$) не влияет на течение газа в сопле Лаваля, потому что изменение внешних условий не вызывает перестройку течения в сопле, у которого скорость истечения газа сверхзвуковая. Однако, при повышении величины p_H до значений, в 2...3 раза превышающих p_2 , в сопле возникает отрыв потока и связанные с этим изменения течения газа, рассмотренные выше.

Так как пропорционально давлению увеличивается расход газа, то при неизменной геометрии, увеличивается скорость, а значит, число Маха.

При увеличении давления в n раз число Маха увеличивается в n раз, значит, в результате давление на выходе уменьшается (при этом не учитываем изменение температуры)

Построим график этой зависимости.

Задание 5

Определить потерю напора для потока воды при течении через резкое сужение от диаметра трубопровода $D_1=150$ мм до диаметра $D_2=100$ мм при расходе жидкости 1 м³/мин.

Критерии оценки:

- оценка «зачтено» выставляется студенту, если работа выполнена;
- оценка «не зачтено» если работа выполнена не полностью.

10. Образовательные технологии и методические указания по освоению дисциплины (учебного курса)

В процессе изучения дисциплины используются следующие образовательные технологии:

- технология традиционного обучения (лекции, практические занятия, самостоятельная работа студентов);
- информационные технологии (визуальные лекции с использованием презентационного метода).

Методические указания

Занятия по дисциплине «Газовая динамика» для студентов вузов проводятся в соответствии с учебным планом. Аудиторная работа студентов под руководством преподавателей осуществляется в соответствии с расписанием в рамках лекций и практических занятий. В самостоятельную работу студентов входит более глубокое изучение теоретического материала и выполнение индивидуальных домашних заданий.

11. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (учебного курса)

11.1. Обязательная литература

№ п/п	Библиографическое описание	Тип(учебник, учебное пособие, учебно-методическое пособие, практикуму и др.)	Количество в библиотеке
1	Кудинов А. А. Гидрогазодинамика [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. А. Кудинов. - Москва : ИНФРА-М, 2015. - 336 с. - (Высшее образование. Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-010326-6.	Учебное пособие	ЭБС «Znanium.com»
2	Куликов А. А. Гидрогазодинамика [Электронный ресурс] : учебное пособие по дисциплине «Гидрогазодинамика» для студентов направления подготовки 13.03.01 (140100.62) «Теплоэнергетика и теплотехника» / А. А. Куликов, И. В. Иванова, И. Н. Дюкова ; Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова. - Санкт-Петербург : СПбГЛТУ, 2015. - 64 с. - ISBN 978-5-9239-0760-5.	Учебное пособие	ЭБС «Лань»
3	Замалеев З. Х. Основы гидравлики и теплотехники [Электронный ресурс] : учеб. пособие / З. Х. Замалеев, В. Н. Посохин, В. М. Чефанов. - Санкт-Петербург : Лань, 2014. - 352 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-1531-1.	Учебное пособие	ЭБС «Лань»
4	Крестин Е. А. Задачник по гидравлике [Электронный ресурс] : с примерами расчетов : учеб. пособие / Е. А. Крестин, И. Е. Крестин. - Изд. 3-е, доп. - Санкт-Петербург : Лань, 2014. - 320 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-1655-4.	Учебное пособие	ЭБС «Лань»
5	Крестин Е. А. Гидравлика [Электронный ресурс] : курс лекций / Е. А. Крестин. - Самара : СГАСУ, 2014. - 189 с. - ISBN 978-5-9585-0566-1.	Курс лекций	ЭБС «Лань»
6	Цупров А. Н. Практикум по гидравлике и гидроприводу [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. Н. Цупров ; Липецкий государственный технический университет. - Липецк : ЛГТУ, 2013. - 63 с. : ил. - ISBN 978-5-88247-620-4.	Учебное пособие	ЭБС «IPRBooks»

11.2. Дополнительная литература и учебные материалы (аудио-, видеопособия и др.)

фонд научной библиотеки ТГУ:

№ п/п	Библиографическое описание	Тип(учебник, учебное пособие, учебно- методическое по- собие, практикуму и др.)	Количество в библиотеке
1	Зуйков А. Л. Гидравлика [Электронный ресурс] : учебник. Т. 2. Напорные и открытые потоки. Гидравлика сооружений / А. Л. Зуйков, Л. В. Волгина. - Москва : МГСУ : ЭБС АСВ, 2015. - 423 с. - ISBN 978-5-7264-1023-4.	Учебник	ЭБС «IPRbooks»
2	Марон В. И. Гидравлика двухфазных потоков в трубопроводах [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. И. Марон. - Санкт-Петербург : Лань, 2012. - 256 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-1235-8.	Учебное пособие	ЭБС «Лань»
3	Гроховский Д. В. Основы гидравлики и гидропривод [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Д. В. Гроховский. - Санкт-Петербург : Политехника, 2016. - 236 с. - (Учебное пособие для вузов). - ISBN 978-5-7325-1086-7.	Учебное пособие	ЭБС «IPRbooks»
4	Иваненко И. И. Гидравлика [Электронный ресурс] : учеб. пособие / И. И. Иваненко ; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. - Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2012. - 149 с. : ил. - ISBN 978-5-9227-0412-6.	Учебное пособие	ЭБС «IPRbooks»
8	Шейпак А. А. Гидравлика и гидропневмопривод [Электронный ресурс] : основы механики жидкости и газа: учеб. / А. А. Шейпак. - 6-е изд., испр. и доп. - Москва : ИНФРА-М, 2017. - 272 с. - (Высшее образование. Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-011848-2.	Учебник	ЭБС «Znani-um.com»

- другие фонды:

По учебному курсу данный подраздел не предусмотрен

СОГЛАСОВАНО

Директор научной библиотеки

(подпись)

А.М. Асаева
(И.О. Фамилия)

«__» _____ 20__ г.

МП

11.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

- WebofScience[Электронный ресурс] : мультидисциплинарная реферативная база данных. – Philadelphia: ClarivateAnalytics, 2016– . – Режим доступа : apps.webofknowledge.com. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
- Scopus[Электронный ресурс] : реферативная база данных. – Netherlands: Elsevier, 2004– . – Режим доступа : scopus.com. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
- Elibrary[Электронный ресурс] : научная электронная библиотека. – Москва : НЭБ, 2000– . – Режим доступа : elibrary.ru. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
- SpringerLink[Электронный ресурс] : [база данных]. – Switzerland: SpringerNature, 1842– . – Режим доступа : link.springer.com. – Загл. с экрана. – Яз. англ.

11.4. Перечень программного обеспечения

№ п/п	Наименование ПО	Количество лицензий	Реквизиты договора (дата, номер, срок действия)
1	Windows	1398	№619935341, 2013 г. бессрочный
2	Office Standart	1398	№61935138 от 28.05.2012 бессрочный

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

№ п/п	Наименование оборудованных учебных кабинетов, лабораторий, мастерских и др. объектов для проведения практических и лабораторных занятий	Перечень основного оборудования	Фактический адрес учебных кабинетов, лабораторий, мастерских и др.	Площадь, м ²	Количество посадочных мест
1	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа. Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа. Учебная аудитория для курсового проектирования (выполнения курсовых работ). Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций. Учебная аудитория для проведения занятий текущего контроля и промежуточной аттестации. Б-209	Столы ученические двухместные (моноблоки), стол преподавательский, стул преподавательский, кафедра, доска аудиторная (меловая), экран.	445020 Самарская область, г. Тольятти, ул. Белорусская 14г, корпус Б ауд. Б-209	71,7	52

№ п/п	Наименование оборудо- ванных учебных кабине- тов, лабораторий, мастер- ских и др. объектов для проведения практических и лабораторных занятий	Перечень основного оборудования	Фактический адрес учебных кабинетов, лабораторий, ма- стерских и др.	Площадь, м ²	Количество посадочных мест
2	Лаборатория "Газовая динамика" Б-214	стеллаж с наглядными пособиями, стеллаж с лабораторными посо- биями, вакуумный привод, столы учени- ческие двухместные (моноблоки) , доска аудиторная, турбоком- прессор, вакуумная заслонка, вакуумметр, наглядные пособия., стол преподаватель- ский, стул преподава- тельский.	445020 Самарская область, г. Тольят- ти, ул. Белорусская 14г, корпус Б. ауд. Б-214	51,8	22
3	Компьютерный класс. Помещение для самосто- ятельной работы. Учеб- ная аудитория для про- ведения занятий семи- нарского типа. Учебная аудитория для курсового проектирования (выпол- нения курсовых работ). Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных кон- сультаций. Учебная аудитория для проведе- ния занятий текущего контроля и промежуточ- ной аттестации Г-401	Стол� ученические, стулья ученические, ПК с выходом в сеть Интернет	445020 Самарская область, г. Тольят- ти, ул. Белорусская 14, ауд. Г-401	84,8	16