Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 18.09.2025 14:05:25
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Транспортный факультет

УТВЕРЖДАЮ
И.о. декана
/М.Р. Рыбакова/
«27» февраля 2025 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Проектирование камер сгорания для современных микротурбин

Направление подготовки/ специальность
13.04.03 «Энергетическое машиностроение»

Профиль/ специализация
Проектирование и эксплуатация двигателей для инновационного транспорта

Квалификация
Магистр

Форма обучения
Очная

Москва, 2025

Разработчик(и):

к.т.н., проф. /А.И. Федулов/

Согласовано:

Заведующий кафедрой «Энергоустановки для транспорта и малой энергетики», д.т.н. /Г.Г. Надарейшвили/

Оглавление

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине 4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы 6
3. Структура и содержание дисциплины....6
3.1. Виды учебной работы и трудоемкость.... 6
3.2. Тематический план изучения дисциплины.... 7
3.3. Содержание дисциплины.... 7
3.4. Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий.... 9
3.4.1. Семинарские/практические занятия 9
3.4.2. Лабораторные занятия.... 12
3.5. Тематика курсовых проектов (курсовых работ) 12
4. Учебно-методическое и информационное обеспечение 12
4.1. Нормативные документы и ГОСТы 12
4.2. Основная литература.... 13
4.3. Дополнительная литература.... 13
4.4. Электронные образовательные ресурсы 13
4.5. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение 13
4.6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы.... 14
5. Материально-техническое обеспечение....15
6. Методические рекомендации 15
6.1. Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения.... 15
6.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины 16
7. Фонд оценочных средств....17
7.1. Методы контроля и оценивания результатов обучения 17
7.2. Шкала и критерии оценивания результатов обучения.... 18
7.3. Оценочные средства.... 19

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

Целью данной дисциплины является формирование у студентов глубоких теоретических знаний и практических навыков в области процессов горения и устройства камер сгорания, применяемых в энергетических машинах и установках (особенно в газотурбинных двигателях и микротурбинных установках). Основное внимание уделяется изучению физико-химических основ горения, особенностям конструкции и работы камер сгорания, а также методикам их расчёта и анализа.

Задачи дисциплины:

Теоретические знания:

Освоение основных понятий и законов горения топлива в камерах сгорания.

Изучение химического состава и свойств топлива, применимого в газотурбинных и микротурбинных установках.

Понимание процессов горения в ламинарных и турбулентных потоках, особенностей пламенного распространения.

Знание особенностей и требований к конструкции камер сгорания, включая их классификацию и конструктивные схемы.

Практические навыки:

Умение рассчитывать температуру горения и основные параметры процессов горения.

Владение методами анализа процессов горения и оценки эффективности работы камер сгорания.

Приобретение навыков проведения лабораторных исследований процессов горения, измерения и обработки экспериментальных данных.

Инженерные расчёты:

Овладение методами расчёта камер сгорания: тепловым и гидравлическим расчётом, анализом потерь и влиянием геометрии на эффективность горения.

Развитие навыков расчёта и проектирования конструкций камер сгорания, учитывающих требования к экологичности и эффективности.

Экологическое направление:

Понимание влияния процессов горения на окружающую среду, знание методов снижения уровня токсичных выбросов.

Ознакомление с методами анализа эмиссий NOx, CO и других загрязняющих веществ, вырабатываемым в камерах сгорания.

Методики испытаний и анализа:

Формирование навыков проведения испытаний камер сгорания и анализа их работоспособности.

Применение методов измерений и анализа параметров горения, включая оценку температурных режимов и концентраций вредных веществ.

Студенты, освоившие дисциплину «Теория горения и камеры сгорания энергетических машин и установок», должны обладать следующими знаниями, умениями и навыками:

Знания:

Теория горения:

Понимать химическую реакцию горения топлива и процессы, происходящие в камерах сгорания.

Знать, как рассчитывается температура горения без учёта диссоциации.

Отличать ламинарное и турбулентное горение, понимать влияние турбулентности на процесс горения.

Камеры сгорания:

Знать назначение, классификацию и конструктивные схемы камер сгорания газотурбинных двигателей (ГТД).

Понимать основные требования к камерам сгорания и критерии оценки их эффективности.

Осведомленность о потерях в диффузоре, фронтовом устройстве и при смешивании потоков.
Топливо:
Уметь классифицировать топливо по физическим свойствам и составу.
Знать общие требования к топливу для ГТД и особенности использования газообразного и жидкого топлива.
Понимать влияние смены типа топлива на работу двигателя.
Лабораторные исследования:
Понимать методологию и технику проведения лабораторных исследований процессов горения.
Знать методы измерения и обработки данных по параметрам горения и токсичным веществам.
Экологический аспект:
Владеть знаниями о токсичных веществах, образуемых в продуктах сгорания (NOx, CO и др.).
Понимать методы борьбы с вредными выбросами и экологические требования к ГТД.
Конструкторские особенности:
Знать конструктивные схемы жаровых труб камер сгорания и их влияние на эффективность горения.
Понимать температурный режим стенок жаровой трубы и конструкцию смесителей.
Расчёт камер сгорания:
Уметь выполнять тепловой и гидравлический расчёт камер сгорания.
Понимать зависимость эффективности горения от геометрии камеры сгорания.

Умения:
Проведение расчётов:
Уметь рассчитывать температуру горения и потери при распространении пламени.
Выполнять расчёт камеры сгорания с учётом потерь и влияния геометрии.
Организация лабораторных исследований:
Уметь поставить задачу и спланировать лабораторные исследования процессов горения.
Обрабатывать экспериментальные данные и анализировать результаты.
Оценка эффективности и экологичности:
Уметь оценивать эффективность камеры сгорания по основным критериям.
Анализировать токсичность выбросов и рекомендовать меры по уменьшению загрязнения атмосферы.
Анализ и синтез:
Уметь анализировать конструкцию камеры сгорания и её влияние на рабочие процессы.
Формируют навыки выбора подходящего топлива и конструктивного исполнения камеры сгорания для конкретных условий эксплуатации.

Навыки:
Проектировочные навыки:
Способность проектировать камеры сгорания с учетом особенностей горючего, рабочих режимов и требований по экологичности.
Аналитические навыки:
Навыки анализа потерь в камерах сгорания и выбора путей повышения эффективности.
Экспертные навыки:
Оценка влияния изменения типа топлива на характеристики двигателя и камеры сгорания.
Экспертиза возможных отклонений в работе камеры сгорания и своевременное выявление причин нарушений.
Работа с документацией:

Привычка читать техническую литературу и использовать справочные материалы для расчёта и проектирования.

Обучение по дисциплине направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

Код и наименование компетенций	Индикаторы достижения компетенции
ПК-3. Способен к проведению исследований в области проектирования энергоустановок	ИПК-3.1. Применяет знания основ проведения исследований в области проектирования энергетических установок ИПК-3.2. Умеет применять и анализировать результаты, полученные при проведении исследований для проектирования энергоустановок ИПК-3.3. Владеет навыками проведения исследований и проектирования энергетических установок на основе анализа результатов исследовательской работы

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина входит в часть блока Б.1 – «Обязательная часть», подраздел Б1.1.30

Для изучения данной дисциплины необходимы знания, умения и навыки, формируемые при изучении таких дисциплин, как Термодинамика для энергетических машин, Физика, Линейная алгебра, Математический анализ, Инженерная механика в энергетическом машиностроении, Сопротивление материалов.

Знания, умения, навыки, сформированные данной дисциплиной, будут востребованы при изучении таких дисциплин как: Виброакустика на транспорте и в энергетике, Проектирование тепловых двигателей для транспорта и малой энергетики, а также при прохождении практики, подготовке к процедуре защиты и защите выпускной квалификационной работы.

3. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетные единицы (180 часов).

3.1. Виды учебной работы и трудоемкость

№ п/п	Вид учебной работы	Количество часов	Семестры
			3
1	Аудиторные занятия	72	72
	В том числе:	–	–
	Лекции	18	18
	Семинарские/практические занятия	54	54
	Лабораторные занятия	–	–
2	Самостоятельная работа	108	108
3	Промежуточная аттестация	–	–
	Зачет/диф.зачет/экзамен	Экзамен	Экзамен
	Итого	180	180

3.2. Тематический план изучения дисциплины

№ п/п	Разделы/темы дисциплины	Всего	Аудиторная работа	Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
1	Тема 1. Общие сведения о камерах сгорания ГТД	20	8	2	6	–	12
2	Тема 2. Топливо, применяемое в микротурбинных и газотурбинных установках	20	8	2	6	–	12
3	Тема 3. Жидкое топливо. Физико-химические свойства	20	8	2	6	–	12
4	Тема 4. Основы теории горения	20	8	2	6	–	12
5	Тема 5. Теоретические основы для выполнения лабораторных работ	20	8	2	6	–	12
6	Тема 6. Горение в турбулентных средах	20	8	2	6	–	12
7	Тема 7. Теория и расчет камер сгорания ГТД	20	8	2	6	–	12
8	Тема 8. Конструкторские особенности и испытания камер сгорания	20	8	2	6	–	12
9	Тема 9. Теоретические основы лабораторных работ по исследованию температурных режимов и токсичности	20	8	2	6	–	12
	Итого:	180	72	18	54	–	108

3.3. Содержание дисциплины

Лекция 1. Общие сведения о камерах сгорания ГТД
Введение в тему и назначение камер сгорания.
Классификация конструктивных схем камер сгорания.
Основные требования к камерам сгорания.
Критерии оценки эффективности камер сгорания.

Лекция 2. Топливо, применяемое в микротурбинных и газотурбинных установках
Общие требования к топливу для ГТД.
Состав и теплота сгорания топлива.
Особенности использования газообразного топлива.
Проблемы, возникающие при смене типа топлива.

Лекция 3. Жидкое топливо. Физико-химические свойства
Ассортимент жидких топлив, производимых в России и за рубежом.
Физико-химические свойства жидких топлив.
Выбор топлива для ГТД и его влияние на характеристики двигателя.
Современные тенденции в развитии топливных смесей.

Лекция 4. Основы теории горения
Химические реакции горения топлива.
Расчёт температуры горения без учёта диссоциации.
Ламинарное распространение пламени и условия его существования.
Упрощённая теория нормального распространения пламени.
Особенности распространения пламени в турбулентном потоке.

Лекция 5. Теоретические основы для выполнения лабораторных работ
Постановка задачи лабораторных исследований процессов горения.
Методика и техника проведения экспериментов.
Измерение параметров горения и обработка данных.
Анализ результатов лабораторных работ.

Лекция 6. Горение в турбулентных средах
Турбулентное горение и его особенности.
Диффузионное горение и его характеристики.
Основные понятия о струйных течениях.
Закрученные струи и их влияние на процессы горения.

Лекция 7. Теория и расчет камер сгорания ГТД
Рабочий процесс камер сгорания.
Потери при течении газа в элементах камер сгорания.
Потери в диффузоре и фронтовом устройстве.
Потери при смешивании потоков и тепловые потери.
Влияние геометрии камеры сгорания на эффективность горения.

Лекция 8. Конструкторские особенности и испытания камер сгорания
Конструктивные схемы жаровых труб камер сгорания.
Температурный режим стенки жаровой трубы.
Смешивающие устройства и смесители.
Расчёт камер сгорания: тепловой и гидравлический расчёт.
Испытания камер сгорания и методы анализа токсичности выбросов.

Лекция 9. Теоретические основы лабораторных работ по исследованию температурных режимов и токсичности
Основные задачи лабораторных исследований температурных режимов камер сгорания.
Измерение температуры и концентрации вредных веществ в продуктах сгорания.
Анализ эмиссии NOx, CO и других загрязнений.
Методы борьбы с выбросом вредных веществ в ГТД.

В связи с проведением лекций в дистанционном формате и с целью повышения эффективности усвоения учебного материала, студенты должны вести рукописный конспект лекций во время всех дистанционных лекций.
Конспект должен быть оформлен в соответствии с требованиями кафедры, включая:

- Дату проведения лекции.
- Тему лекции.
- Основные тезисы и определения.
- Схемы, графики, формулы и другие визуальные материалы, представленные на лекции.
- Личные комментарии и вопросы, возникшие в ходе лекции.

Конспект должен быть аккуратным, понятным и легко читаемым.

Наличие рукописного конспекта лекций является обязательным условием для допуска к промежуточной аттестации.
Студенты, не предоставившие конспекты лекций, не будут допущены к промежуточной аттестации.
В течение семестра профессорско-преподавательский состав должен не менее двух раз (в период текущего контроля успеваемости) проводить проверку конспектов лекций.
Итоговые конспекты лекций должны быть предоставлены на проверку не позднее, чем за неделю до начала зачётно-экзаменационной сессии.

3.4. Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий

3.4.1. Семинарские/практические занятия

Практическое занятие №1. Введение в теорию горения и камер сгорания
Цель: знакомство с общими сведениями о камерах сгорания и топливе.
Определение и классификация камер сгорания.

Практическое занятие №2. Введение в теорию горения и камер сгорания
Цель: знакомство с общими сведениями о камерах сгорания и топливе.
Основные требования к камерам сгорания.
Изучение ассортимента жидких топлив и их физико-химических свойств.

Практическое занятие №3. Топливо для газотурбинных двигателей
Цель: изучение топлива, применяемого в ГТД.
Изучение требований к топливу.

Практическое занятие №4. Топливо для газотурбинных двигателей
Цель: изучение топлива, применяемого в ГТД.
Определение состава и теплоты сгорания топлива.
Анализ особенностей использования газообразного топлива.

Практическое занятие №5. Жидкое топливо и его характеристики
Цель: углубленное изучение жидких топлив.
Составление перечня ассортиментных марок жидких топлив.

Практическое занятие №6. Жидкое топливо и его характеристики
Цель: углубленное изучение жидких топлив.
Анализ физико-химических свойств жидких топлив.
Оценка влияния топлива на характеристики двигателя.

Практическое занятие №7. Основы теории горения
Цель: освоение основ химической кинетики и расчета горения.
Изучение химических реакций горения топлива.

Практическое занятие №8. Основы теории горения
Цель: освоение основ химической кинетики и расчета горения.
Расчёт температуры горения без учёта диссоциации.
Исследование ламинарного распространения пламени.

Практическое занятие №9. Теоретические основы горения
Цель: получение навыков анализа горения в ламинарных и турбулентных потоках.
Задания:
Анализ условий существования фронта пламени.
Применение закона Михельсона для расчета скорости распространения пламени.

Изучение упрощённой теории нормального распространения пламени.

Практическое занятие №10. Горение в турбулентных средах
Цель: освоение особенностей горения в турбулентных потоках.
Задания:
Изучение особенностей турбулентного горения.
Анализ диффузионного горения и его характеристик.
Изучение влияния закрутки струй на процессы горения.

Практическое занятие №11. Теория и расчет камер сгорания
Цель: изучение процессов и расчётов в камерах сгорания.
Задания:
Изучение рабочего процесса камер сгорания.
Расчёт потерь при течении газа в элементах камеры сгорания.
Определение потерь в диффузоре и фронтовом устройстве.

Практическое занятие №12. Потери и эффективность камер сгорания
Цель: оценка потерь и эффективности работы камер сгорания.
Задания:
Расчёт потерь при смешивании потоков.
Оценка тепловых потерь в камерах сгорания.
Анализ влияния геометрии камеры сгорания на эффективность горения.

Практическое занятие №13. Конструкторские особенности камер сгорания
Цель: изучение конструктивных особенностей и методов расчёта.
Задания:
Изучение конструктивных схем жаровых труб камер сгорания.
Анализ температурного режима стенки жаровой трубы.
Расчёт камер сгорания (тепловой и гидравлический).

Практическое занятие №14. Расчёт и проектирование камер сгорания
Цель: приобретение навыков расчёта и проектирования камер сгорания.
Задания:
Проектирование индивидуального выносного устройства камеры сгорания.
Выполнение гидравлического расчёта камеры сгорания.
Разработка конструктивной схемы жаровой трубы.

Практическое занятие №15. Испытания камер сгорания
Цель: изучение методов испытаний и анализа токсичности.
Задания:
Изучение методов испытаний камер сгорания.
Анализ токсичности выбросов камер сгорания.
Методы борьбы с выбросом вредных веществ.

Практическое занятие №16. Лабораторные исследования горения
Цель: проведение лабораторных исследований процессов горения.
Задания:
Подготовка к лабораторным работам по исследованию процессов горения.
Проведение экспериментов и измерение параметров горения.
Анализ полученных данных и оформление результатов.

Практическое занятие №17. Лабораторные исследования камер сгорания

Цель: проведение лабораторных исследований камер сгорания.
Задания:
Подготовка к лабораторным работам по исследованию камер сгорания.
Проведение экспериментов и измерение параметров камеры сгорания.
Анализ результатов и оформление отчета.

Практическое занятие №18. Методы анализа токсичности
Цель: освоение методов анализа токсичности продуктов сгорания.
Изучение методов анализа эмиссии NOx, CO и других загрязнителей.

Практическое занятие №19. Методы анализа токсичности
Цель: освоение методов анализа токсичности продуктов сгорания.
Обработка и анализ данных лабораторных исследований.
Вывод рекомендаций по снижению токсичности выбросов.

Практическое занятие №20. Современные методы проектирования
Цель: изучение современных методов проектирования и расчёта.
Изучение современных методов численного анализа и моделирования.

Практическое занятие №21. Современные методы проектирования
Цель: изучение современных методов проектирования и расчёта.
Применение инструментов компьютерного моделирования (ANSYS, Abaqus и др.).
Использование методов триангуляции и конечно-элементного анализа.

Практическое занятие №22. Оптимизация конструкции камер сгорания
Цель: освоение методов оптимизации конструкции камер сгорания.
Разработка предложений по оптимизации конструкции камеры сгорания.

Практическое занятие №23. Оптимизация конструкции камер сгорания
Цель: освоение методов оптимизации конструкции камер сгорания.
Расчёт и анализ предложенных модификаций.
Подготовка рекомендаций по повышению эффективности камеры сгорания.

Практическое занятие №24. Современные тенденции и перспективы
Цель: изучение современных тенденций и перспектив развития камер сгорания.
Анализ современных направлений развития камер сгорания.

Практическое занятие №25. Современные тенденции и перспективы
Цель: изучение современных тенденций и перспектив развития камер сгорания.
Изучение новых материалов и покрытий для камер сгорания.
Оценка перспектив использования альтернативных видов топлива.

Практическое занятие №26. Подготовка и защита рефератов и курсовых работ
Цель: завершение учебной программы и презентация итоговых работ.
Подготовка рефератов и курсовых работ по актуальным проблемам теории горения и камер сгорания.

Практическое занятие №27. Подготовка и защита рефератов и курсовых работ
Цель: завершение учебной программы и презентация итоговых работ.
Презентация и защита подготовленных работ.
Участие в дискуссии и обсуждение достигнутых результатов.

3.4.2. Лабораторные занятия

Лабораторные работы по дисциплине не предусмотрены.

3.5. Тематика курсовых проектов (курсовых работ)

Курсовой проект (курсовая работа) по дисциплине не предусмотрены

4. Учебно-методическое и информационное обеспечение

4.1. Нормативные документы и ГОСТы

1. ГОСТ 25.101-83
«Расчёты и испытания на прочность. Методы расчёта и испытаний на усталостную прочность»
Используется для оценки долговечности и усталостной прочности деталей ГТД, а также для правильного выбора материалов и расчётных параметров.

2. ГОСТ 25.504-82
«Расчёты и испытания на прочность. Методы расчёта на прочность лопаток паровых и газовых турбин»
Важен для расчёта прочности лопаток газотурбинных двигателей, поскольку именно эта часть испытывает наибольшее воздействие термических и механических нагрузок.

3. ГОСТ 25.502-80
«Расчёты и испытания на прочность. Методы испытаний на ползучесть и длительную прочность»
Необходимо для изучения и учёта эффектов ползучести, длительного нагружения и установления долговременной прочности материалов ГТД.

4. ГОСТ 25.503-97
«Расчёты и испытания на прочность. Методы испытаний на статическую прочность»
Помогает освоить правильные методы испытаний на статическую прочность деталей и узлов ГТД, что крайне важно для безопасной эксплуатации.

5. ГОСТ 25.505-80
«Расчёты и испытания на прочность. Методы испытаний на релаксацию напряжений»
Рекомендуется для глубокого понимания процесса релаксации напряжений, возникающего в деталях ГТД при длительном воздействии нагрузок.

6. ГОСТ 25.506-85
«Расчёты и испытания на прочность. Методы расчёта и испытаний на вибропрочность»
Обязателен для студентов, изучающих динамику и вибростойкость элементов газотурбинных двигателей, таких как лопатки и диски.

7. ГОСТ 25.507-85
«Расчёты и испытания на прочность. Методы испытания на многократную изгибающую усталость»
Особенно важен для расчёта элементов, подверженных циклическим нагрузкам, таким как лопатки компрессора и турбины.

8. ГОСТ 25.508-94
«Расчёты и испытания на прочность. Методы испытаний на усталостную прочность при пульсирующем растяжении»
Будет полезен при изучении вопроса долговечности элементов ГТД, испытывающих пульсирующее растягивающее усилие.

9. ГОСТ 25.509-85
«Расчёты и испытания на прочность. Методы испытаний на выносливость при повторно-статическом нагружении»
Является полезным документом для изучения вопросов, связанных с усталостью и пределом выносливости элементов газотурбинных двигателей.

10. ГОСТ 25.501-97
«Расчёты и испытания на прочность. Методы расчёта и испытаний на растяжение»
Используется для изучения методов расчёта и проведения испытаний на растяжение материалов, применяемых в производстве деталей ГТД.

4.2. Основная литература

1. Математические модели потоков в лопаточных машинах двигателей и агрегатов летательных аппаратов : учебное пособие / А. Б. Прокофьев, В. Н. Матвеев, О. В. Батурин [и др.]. — Самара : Самарский университет, 2021. — 200 с. — ISBN 978-5-7883-1659-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/256937
2. Малоразмерные авиационные газотурбинные двигатели/ В. А. Григорьев, В. С. Кузьмичев, В. А. Зрелов [и др.] ; под редакцией В. А. Григорьева, А. И. Ланшина. — Самара : Самарский университет, 2021. — 436 с. — ISBN 978-5-7883-1587-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/257072
3. Конструирование двигателей внутреннего сгорания : учебник / под редакцией Н. Д. Чайнова. — 3-е изд. — Москва : Машиностроение, 2023. — 496 с. — ISBN 978-5-907523-24-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/307301

4.3. Дополнительная литература

1. Малоразмерные авиационные газотурбинные двигатели : учебное пособие / В. А. Григорьев, В. С. Кузьмичев, В. А. Зрелов [и др.] ; под редакцией В. А. Григорьева, А. И. Ланшина. — 2-е изд., доп. — Самара : Самарский университет, 2022. — 452 с. — ISBN 978-5-7883-1715-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/336593
2. Батурин, О. В. Основные сведения о турбомашинах и их применении в современной технике : учебное пособие / О. В. Батурин, В. Н. Матвеев, Г. М. Попов. — Самара : Самарский университет, 2020. — 108 с. — ISBN 978-5-7883-1578-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/188956
3. Надежность авиационной техники : методические указания / составитель И. В. Любимов. — Санкт-Петербург : СПБГУ ГА им. А.А. Новикова, 2022. — 21 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/297245

4.4. Электронные образовательные ресурсы

Камеры сгорания перспективных микротурбин
https://online.mospolytech.ru/course/view.php?id=8230

4.5. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

Для проведения занятий по дисциплине необходимо следующее ПО:
Операционная система Windows 7 и выше, Офисные приложения Microsoft Office.

4.6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Для освоения дисциплины рекомендуются следующие сайты информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

http://минобрнауки.рф/ - Министерство образования и науки РФ;

http://fcior.edu.ru/ - Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов;

http://fgosvo.ru/ - Портал Федеральных государственных образовательных стандартов;

http://www.consultant.ru/ - Справочная правовая система «Консультант Плюс»;

http://www.garant.ru/ - Справочная правовая система «Гарант»;

http://www.edu.ru/ - Российское образование. Федеральный портал;

http://www.opengost.ru/ - Сайт, содержащий полные тексты нормативных документов.

Перечень информационных систем:

Научная библиотека Московского политехнического университета. http://lib.mami.ru/lib/content/elektronnyy-katalog

База данных содержит в себе 102678 учебных материалов различной направленности 1939 из которых полнотекстовые. Доступ к электронному каталогу можно получить с любого устройства, имеющим подключение к интернету.

Электронный каталог БИЦ МГУП.

http://mgup.ru/library/

Электронный каталог позволяет производить поиск по базе данных библиотеки МГУП.

ЭБС издательства «ЛАНЬ».

https://e.lanbook.com/

ЭБС «ЛАНЬ» - ресурс, предоставляющий online-доступ к научным журналам и полнотекстовым коллекциям книг различных издательств.

Доступ к ЭБС издательства «ЛАНЬ» осуществляется со всех компьютеров университета.

ЭБС «Polpred».

http://polpred.com/news

ЭБС представляет собой архив важных публикаций, собираемых вручную. База данных с рубрикатором: 53 отрасли/ 600 источников/ 9 федеральных округов РФ/ 235 стран и территорий/ главные материалы/ статьи и интервью 8000 первых лиц. Для доступа к полным текстам ЭБС с компьютеров на территории учебных корпусов университета авторизация не требуется.

«КиберЛенинка» - научная библиотека открытого доступа.

http://cyberleninka.ru/

Это научная электронная библиотека открытого доступа (Open Access).

Библиотека комплектуется научными статьями, публикациями в журналах России и ближнего зарубежья. Научные тексты, представленные в библиотеке, размещаются в интернете бесплатно, в открытом доступе. Пользователям библиотеки предоставляется возможность читать научные работы с экрана планшета, мобильного телефона и других современных мобильных устройств.

Научная электронная библиотека «eLIBRARY.RU».

http://elibrary.ru/defaultx.asp

Крупнейшая в России электронная библиотека научных публикаций, обладающая богатыми возможностями поиска и анализа научной информации. Библиотека интегрирована с Российским индексом научного цитирования (РИНЦ) - созданным по заказу Минобрнауки РФ бесплатным общедоступным инструментом измерения публикационной активности ученых и организаций.

Реферативная и наукометрическая электронная база данных «Scopus».

https://www.scopus.com/home.uri

Индексирует не менее 20500 реферируемых научных журналов, которые издаются не менее чем 5000 издательствами и содержат не менее 47 млн. библиографических записей, из которых не менее 24 млн. включают в себя списки цитируемой литературы.

База данных «Knovel» издательства «Elsevir».

https://app.knovel.com/web/

Полнотекстовая база данных для поиска инженерной информации и поддержки принятия инженерных решений.

Доступ к электронным базам данных «Scopus» и «Knovel» осуществляется круглосуточно через сеть Интернет в режиме он-лайн по IP-адресам, используемым университетом для выхода в сеть Интернет.

Поисковые интернет-системы: Google, Yandex, Yahoo, Mail, Rambler, Bing и др.

Информационная система предоставляет свободный доступ к каталогу образовательных Интернет-ресурсов и полнотекстовой электронной учебно-методической библиотеке для общего и профессионального образования. Доступ с любого компьютера, подключенного к Интернет.

5. Материально-техническое обеспечение

1) Аудитория для лекционных, семинарских и практических занятий № Нд-222 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13

2) Аудитория для лекционных, семинарских и практических занятий № Нд-223 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13

3) Аудитория для лекционных, семинарских и практических занятий № Нд-224 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13

4) Аудитория для лекционных, семинарских и практических занятий № Н-406 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13

5) Комплекты мебели для учебного процесса.

6) Мультимедийное оборудование: Экран для проектора, переносной ноутбук, переносной проектор.

6. Методические рекомендации

6.1. Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения

Возможно проведение занятий и аттестаций в дистанционном формате с применением системы дистанционного обучения университета (СДО-LMS). Порядок проведения работ в дистанционном формате устанавливается отдельными распоряжениями проректора по учебной работе и/или центром учебно-методической работы.

Преподаватель должен последовательно вычитать студентам ряд лекций, в ходе которых следует сосредоточить внимание на ключевых моментах конкретного теоретического материала, а также организовать проведение практических занятий таким образом, чтобы активизировать мышление студентов, стимулировать самостоятельное извлечение ими необходимой информации из различных источников, сравнительный анализ методов решений, сопоставление полученных результатов, формулировку и аргументацию собственных взглядов на многие спорные проблемы.

Перед началом преподавания преподавателю необходимо:

- изучить рабочую программу, цели и задачи дисциплины;
- четко представлять себе, какие знания, умения и навыки должен приобрести студент;
- познакомится с видами учебной работы;
- изучить содержание разделов дисциплины.

В ходе лекционного занятия преподаватель должен назвать тему, учебные вопросы, ознакомить студентов с перечнем основной и дополнительной литературы по теме занятия.

Во вступительной части лекции обосновать место и роль изучаемой темы в учебной дисциплине, раскрыть ее практическое значение. Если читается не первая лекция, то необходимо увязать ее тему с предыдущей, не нарушая логики изложения учебного материала. Лекцию следует начинать, только чётко обозначив её характер, тему и круг тех вопросов, которые в её ходе будут рассмотрены.

В основной части лекции следует раскрывать содержание учебных вопросов, акцентировать внимание студентов на основных категориях, явлениях и процессах, особенностях их протекания. Раскрывать сущность исодержание различных точек зрения и научных подходов к объяснению тех или иных явлений и процессов. Следует аргументировано обосновать собственную позицию по спорным теоретическим вопросам. Приводить примеры. Задавать по ходу изложения лекционного материала риторические вопросы и самому давать на них ответ. Это способствует активизации мыслительной деятельности студентов, повышению их внимания и интереса к материалу лекции, ее содержанию. Преподаватель должен руководить работой студентов по конспектированию лекционного материала, подчеркивать необходимость отражения в конспектах основных положений изучаемой темы, особо выделяя категорийный аппарат.

В заключительной части лекции необходимо сформулировать общие выводы по теме, раскрывающие содержание всех вопросов, поставленных в лекции. Объявить план очередного семинарского или лабораторного занятия, дать краткие рекомендации по подготовке студентов к семинару или лабораторной работе. Определить место и время консультации студентам, пожелавшим выступить на семинаре с докладами и рефератами по актуальным вопросам обсуждаемой темы.

6.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины осуществляется при контактной работе с преподавателем и в процессе самостоятельной работы. Эффективное освоение дисциплины предполагает регулярное посещение всех видов аудиторных занятий, выполнение плана самостоятельной работы в полном объеме и прохождение аттестации в соответствии с календарным учебным графиком.

Студенту рекомендуется ознакомиться со списком основной и дополнительной литературы и взять в библиотеке издания в твёрдой копии (необходимо иметь при себе читательский билет и уметь пользоваться электронным каталогом).

Доступ к информационным ресурсам библиотеки и информационно-справочным системам сети «Интернет» организован в читальных залах библиотеки со стационарных ПЭВМ, либо с личного ПЭВМ (ноутбука, планшетного компьютера или иного мобильного устройства) посредством беспроводного доступа при активации индивидуальной учетной записи.

Пользование информационными ресурсами расширяет возможности освоения теоретического курса, выполнения самостоятельной работы и позволяет получить информацию для реализации творческих образовательных технологий: выполнения реферата на заданную или самостоятельно выбранную тему в рамках тематики дисциплины.

Изучение дисциплины должно сопровождаться интенсивной самостоятельной работой студентов с рекомендованными преподавателями литературными источниками и с материалами, полученными на лекционных занятиях. Студент должен помнить, что начинать самостоятельные занятия следует с первого дня изучения дисциплины и проводить их регулярно. Очень важно приложить максимум усилий, воли, чтобы заставить себя работать с полной нагрузкой с первого дня.

Каждый студент должен сам планировать свою самостоятельную работу, исходя из своих возможностей и приоритетов. Это стимулирует выполнение работы, создает более спокойную обстановку, что в итоге положительно сказывается на усвоении материала.

Для плодотворной работы немаловажное значение имеет обстановка, организация рабочего места. Нужно добиться, чтобы место работы по возможности было постоянным. Работа на привычном месте делает ее более плодотворной. Продуктивность работы зависит от правильного чередования труда и отдыха. Поэтому каждые час или два следует делать, перерыв на 10-15 минут. Выходные дни лучше посвятить активному отдыху, занятиям спортом, прогулками на свежем воздухе и т.д. Даже переключение с одного вида умственной работы на другой может служить активным отдыхом.

Особое место уделяется консультированию, как одной из форм обучения и контроля самостоятельной работы. Консультирование предполагает особым образом организованное взаимодействие между преподавателем-консультантом и студентами, направленное на разрешение проблем и внесение позитивных изменений в деятельность студентов.

7. Фонд оценочных средств

Для осуществления процедур текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов предусмотрен фонд оценочных средств (ФОС), позволяющий оценить достижение запланированных результатов обучения и уровень сформированности всех компетенций. Фонд оценочных средств состоит из комплектов контрольно-оценочных средств. Комплекты контрольно-оценочных средств включают в себя контрольно-оценочные материалы, позволяющие оценить знания, умения и уровень приобретенных компетенций.

7.1. Методы контроля и оценивания результатов обучения

Оценивание и контроль сформированности компетенций осуществляется с помощью текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации. Для этого семестр делится на три периода. По окончанию первого периода (контрольная точка 1 (КТ1)) проводится собеседование со студентами по изученному на данный момент материалу. По окончанию второго периода обучения (КТ2) проводится аналогичная процедура. Третий период заканчивается промежуточной аттестацией по всему пройдённому материалу.

Текущий контроль успеваемости студентов предназначен для повышения мотивации студентов к систематическим занятиям, оценивания степени усвоения студентами учебного материала. Текущий контроль успеваемости осуществляется в течение периода теоретического обучения семестра по всем видам аудиторных занятий и самостоятельной работы студента.

Текущий контроль успеваемости в процессе изучения дисциплины может проводиться по усмотрению преподавателя в форме устного собеседования или посредством прохождения тестов, размещённых в соответствующем онлайн-курсе системы дистанционного обучения Московского Политеха.

Если текущий контроль проходит в формате тестирования, то для теста характерны следующие особенности:

Объем теста- 20 тестовых заданий.

Тест имеет ограничение по времени – 25 мин. По истечении времени, вносить изменения в тест будет невозможно.

По окончанию всего теста выдается информация о том, зачтен тест или нет.

При оценке текущей успеваемости с использованием устного собеседования рекомендуются следующие критерии:

1. Знание теории (40%)

Понимание основных понятий, терминологии и закономерностей дисциплины
Способность воспроизводить и объяснять ключевые положения

2. Практические навыки (35%)
Умение применять теоретические знания для решения типовых задач
Анализ и интерпретация результатов

3. Аргументация и качество ответов (15%)
Логичность, полнота и ясность изложения
Обоснование своих решений и выводов

4. Активность и самостоятельность (10%)
Участие в обсуждениях, выполнение дополнительных заданий
Проявление инициативы в обучении

Шкала оценивания (в процентах и по пятибалльной системе)

Процент выполнения	Оценка (5-балльная)	Характеристика результата
90–100%	5 (отлично)	Отличное знание материала, высокая активность
75–89%	4 (хорошо)	Хорошее усвоение материала, незначительные недочеты
60–74%	3 (удовлетворительно)	Базовое понимание, требуется доработка отдельных вопросов
Ниже 60%	2 (неудовлетворительно)	Недостаточный уровень знаний и навыков

Для допуска к промежуточной аттестации студент должен иметь оценку не ниже «удовлетворительно» (3) по результатам текущего контроля.

В случае неудовлетворительной оценки студенту рекомендуется дополнительная подготовка и повторное прохождение контроля до установленного срока.

Результаты текущего контроля успеваемости учитываются преподавателем при проведении промежуточной аттестации. Отставание студента от графика текущего контроля успеваемости по изучаемой дисциплине приводит к образованию текущей задолженности.

Промежуточная аттестация осуществляется в конце семестра. Промежуточная аттестация помогает оценить более крупные совокупности знаний и умений, формирование определенных профессиональных компетенций.

7.2. Шкала и критерии оценивания результатов обучения

Форма аттестации: Экзамен

Система оценивания: При проведении промежуточной аттестации по дисциплине используется пятибалльная шкала оценки уровня сформированности компетенций студента:

Оценка	Баллы	Описание уровня освоения дисциплины
Отлично (5)	90-100	Знания и умения освоены в полном объёме, демонстрируются глубокое понимание и умение применять материал в различных ситуациях. Ошибки отсутствуют или единичны и незначительны.

Оценка	Баллы	Описание уровня освоения дисциплины
Хорошо (4)	75-89	Знания и умения освоены в достаточном объёме, допускаются незначительные ошибки, студент способен решать типовые задачи и применять теоретические знания на практике.
Удовлетворительно (3)	60-74	Знания и умения освоены частично, имеются существенные пробелы, студент способен выполнять базовые задачи, но допускает ошибки при решении сложных вопросов.
Неудовлетворительно (2)	ниже 60	Знания и умения не освоены, студент не справился с основными требованиями экзамена, допускает систематические ошибки, отсутствует понимание ключевых понятий.

Критерии оценивания экзаменационных ответов

Критерий	Отлично (5)	Хорошо (4)	Удовлетворительно (3)	Неудовлетворительно (2)
Глубина знаний	Полное и глубокое раскрытие темы, демонстрация понимания всех аспектов	Хорошее знание темы с незначительными пробелами	Поверхностное знание, основные понятия усвоены	Недостаточное знание, отсутствует понимание основных понятий
Аргументация и обоснование	Логичная, последовательная аргументация, примеры и доказательства	Аргументация присутствует, но не всегда последовательна	Аргументация слабая, недостаточно обоснована	Отсутствие аргументации, необоснованные суждения
Применение знаний	Умение применять знания в новых и нестандартных ситуациях	Применение знаний в типовых задачах	Применение знаний ограничено простыми примерами	Неумение применять знания на практике
Структура и оформление ответа	Ответ структурирован, логичен, грамотно оформлен	Ответ в целом структурирован, мелкие ошибки в оформлении	Ответ слабо структурирован, ошибки в оформлении	Ответ неструктурирован, множество ошибок

7.3. Оценочные средства

Лекция 1. Общие сведения о камерах сгорания ГТД

Что такое камера сгорания и какую роль она выполняет в газотурбинном двигателе?

Назовите основные конструктивные схемы камер сгорания и дайте их краткую характеристику.

Какие требования предъявляются к камерам сгорания газотурбинных двигателей?

Перечислите основные критерии оценки эффективности камер сгорания.

В чём заключаются различия между кольцевой камерой сгорания и трубчато-кольцевой?

Лекция 2. Топливо, применяемое в микротурбинных и газотурбинных установках

Какие общие требования предъявляются к топливу для газотурбинных двигателей?

Что входит в состав топлива и какова его теплота сгорания?

В чём заключаются особенности использования газообразного топлива в ГТД?

Какие проблемы возникают при смене типа топлива в газотурбинных установках?

Какие показатели топлива определяют его пригодность для использования в ГТД?

Лекция 3. Жидкое топливо. Физико-химические свойства
Перечислите ассортимент жидких топлив, используемых в России и за рубежом.
Какие физико-химические свойства жидких топлив оказывают наибольшее влияние на работу ГТД?
Как выбор топлива влияет на характеристики газотурбинного двигателя?
Какие современные тенденции наблюдаются в развитии топливных смесей для ГТД?
Как изменяется эффективность работы ГТД при использовании различных сортов жидкого топлива?

Лекция 4. Основы теории горения
Что представляют собой химические реакции горения топлива?
Как рассчитывается температура горения без учета диссоциации?
В чем заключаются условия существования ламинарного фронта пламени?
В чем заключается упрощённая теория нормального распространения пламени?
Каковы особенности распространения пламени в турбулентном потоке?

Лекция 5. Теоретические основы для выполнения лабораторных работ
Какова общая цель лабораторных исследований процессов горения?
Какие методы и оборудование используются для проведения экспериментов по изучению горения?
Какие параметры горения необходимо измерять в лабораторных работах?
Как обрабатываются данные, полученные в ходе лабораторных исследований?
Какие выводы и заключения можно сделать на основе анализа результатов лабораторных работ?

Лекция 6. Горение в турбулентных средах
В чем особенности турбулентного горения?
Что такое диффузионное горение и каковы его основные характеристики?
Что представляют собой струйные течения и как они влияют на процессы горения?
Как закрученные струи влияют на интенсивность и стабильность горения?
Какие преимущества и недостатки характерны для горения в турбулентных средах?

Лекция 7. Теория и расчет камер сгорания ГТД
Какие основные этапы рабочего процесса происходят в камерах сгорания ГТД?
Какие потери возникают при течении газа в элементах камер сгорания?
В чем заключаются потери в диффузоре и фронтовом устройстве?
Какие потери возникают при смешивании потоков и какова величина тепловых потерь?
Как влияет геометрия камеры сгорания на эффективность процесса горения?

Лекция 8. Конструкторские особенности и испытания камер сгорания
Какие конструктивные схемы жаровых труб камер сгорания используются в ГТД?
Как поддерживается температурный режим стенки жаровой трубы?
Какие типы смесителей и смешивающих устройств применяются в камерах сгорания?
Как осуществляется тепловой и гидравлический расчет камер сгорания?
Какие методы анализа токсичности выбросов применяются при испытаниях камер сгорания?

Лекция 9. Теоретические основы лабораторных работ по исследованию температурных режимов и токсичности
Какие задачи ставятся при лабораторных исследованиях температурных режимов камер сгорания?

Какие методы используются для измерения температуры и концентрации вредных веществ в продуктах сгорания?
Как анализируется эмиссия оксида азота (NOx), монооксида углерода (CO) и других загрязнений?
Какие методы применяются для снижения токсичности выбросов в газотурбинных двигателях?

Общие вопросы
Современные конструкции камер сгорания ГТД
Основные элементы конструкции камер сгорания ГТД
Основные характеристики топлив для питания ГТД Нетрадиционные виды топлив для ГТУ
Экологические проблемы наземных ГТД и ГТУ
Основные элементы и их содержание в выхлопных газах ГТД
Влияние состава топливной смеси на кпд ГТД
Влияние состава топливной смеси на работуосновных узлов “горячего тракта ” ГТД
Химический состав основных видов традиционного топлива ГТД
Основные сведения о камерах сгорания (КС) ГТД и ГТУ
Центробежные компрессоры ГТУ и ихи влияние на процессы в камере сгорания ГТУ
Первичная зона горения
Фронтовое устройство
Газодинамическая структура потока
Зона обратных токов и стабилизация пламени
Основная зона горения
Топливо, применяемое в ГТУ и ГТД
Виды горения
Горение газообразных, жидких и твёрдых веществ
Аэродинамика завихрителей
Типы закручивающих устройств
Структура течения
Размеры циркуляционной зоны
Химические основы горения
Тепловой эффект реакции
Энергия активации реакции
Тепловое воспламенение
Цепные реакции
Движение газов при горении
Модель стабилизации пламени
Реакторная модель
Малотоксичные камеры сгорания
Перспективные материалы для изготовления камер сгорания
Основные характеристики жаровых труб
Недостатки жаровых труб ГТД и меры их устранения
Композитные материалы и их использование при изготовлении камер сгорания
Конструкции топливных форсунок ГТД
Ударные волны и возникновение детонации при горении топлив
Устройство камер сгорания ДВС
Стенды для испытаний камер сгорания
Токсичность выхлопных газов ГТД
Пределы устойчивого горения
Скорость потока при срыве пламени
Распространение пламени в турбулентном потоке

Модели турбулентного горения
Рабочий процесс камер сгорания ДВС
Математические модели камер сгорания и расчет зон горения
Математические модели процессов горения в тепловых двигателях
Влияние типов горения топлива на ресурс КС и двигателя в целом
Нетрадиционные топлива для тепловых машин, их достоинства и недостатки
Зависимости, обуславливающие скорость распространения пламени в КС
Камеры сгорания поршневых двигателей, их классификации
Осевые компрессоры ГТУ и их влияние на процессы в камере сгорания ГТУ
Материалы, применяемые при изготовлении камер сгорания и их влияние на горение топлива
Ресурс камер сгорания в зависимости от применяемого топлива и типагорения
Теория нормального распространения пламени
Зависимость нормальной скорости распространения пламени от различных факторов
Распространение пламени в ламинарном потоке
Модели ламинарного горения
Диффузионноегорение
Рабочий процесс камер сгорания ГТД
Гомогенное и гетерогенное горение
Диффузионное и кинетическое горение
Детонация
Ламинарное распространение пламени
Условия существования фронта пламени
Закон Михельсона
Типы топлив для тепловых двигателей
Типы камер сгорания ГТУ и ДВС
Типы и назначение завихрителей на входе в КС ГТУ
Понятие гомогенезации потока в камере сгорания
Нетрадиционные топлива для тепловых машин, их достоинства и недостатки Зависимости, обуславливающие скорость распространения пламени в КС
Камеры сгорания поршневых двигателей, их классификации
Осевые компрессоры ГТУ и их влияние на процессы в камере сгорания ГТУ
Материалы. применяемые при изготовлении камер сгорания и их влияние на горение топлива
Ресурс камер сгорания в зависимости от применяемого топлива и типагорения Основные сведения о камерах сгорания (КС) ГТД и ГТУ
Центробежные компрессоры ГТУ и их влияние на процессы в камере сгорания ГТУ Первичная зона горения
Фронтовое устройство
Газодинамическая структура потока
Зона обратных токов и стабилизация пламени
Основная зона горения
Топливо, применяемое в ГТУ и ГТД
Виды горения
Горение газообразных, жидких и твёрдых веществ
Модели турбулентного горения
Рабочий процесс камер сгорания ДВС
Математические модели камер сгорания и расчет зон горения
Математические модели процессов горения в тепловых двигателях Влияние типов горения топлива на ресурс КС и двигателя в целом Теория нормального распространения пламени
Зависимость нормальной скорости распространения пламени от различных факторов

Распространение пламени в ламинарном потоке Модели ламинарного горения
Диффузионноегорение
Рабочий процесс камер сгорания ГТД
Аэродинамика завихрителей
Типы закручивающих устройств
Структура течения
Размеры циркуляционной зоны Химические основы горения
Тепловой эффект реакции
Энергия активации реакции
Тепловое воспламенение Цепные реакции
Движение газов при горении Модель стабилизации пламени Реакторная модель
Гомогенное и гетерогенное горение
Диффузионное и кинетическое горение Детонация
Ламинарное распространение пламени Условия существования фронта пламени Закон Михельсона
Типы топлив для тепловых двигателей Типы камер сгорания ГТУ и ДВС
Типы и назначение завихрителей на входе в КС ГТУ Понятие гомогенезации потока в камере сгорания Пределы устойчивого горения
Скорость потока при срыве пламени
Распространение пламени в турбулентном потоке