

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО
Директор физтех-школы
аэрокосмических технологий
С.С. Негодяев

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Теплозащита летательных аппаратов
по направлению:	Техническая физика
профиль подготовки:	Техническая физика космических летательных аппаратов Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра космических летательных аппаратов
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Зачет
2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 0 час.
семинары: 60 час.
лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: Е.А. Сенкевич, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

Программа обсуждена на заседании кафедры космических летательных аппаратов 02.06.2020

Аннотация

Курс "Теплозащита летательных аппаратов" относится к вариативной части образовательной программы, изучается в 1 семестре.

Изучение данной дисциплины опирается на знания, полученные в процессе освоения дисциплин "Уравнения математической физики", "Тепловая защита РД и КА", "Пограничный слой и теплообмен летательных аппаратов", "Статистическая физика", "Физическая химия".

Изучение учебной дисциплины направлено на углубление и расширение базовой профессиональной подготовки магистранта, формирование соответствующих компетенций.

Содержание курса основывается на системных знаниях, полученных в ходе изучения следующих тем:

Основы теории теплопроводности.

Теплоизоляционные материалы.

Термически разлагающиеся материалы.

Определение теплофизических и кинетических характеристик.

Уносимые теплозащитные материалы.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- обучение студентов определению температурных полей элементов конструкций изделий из основных телозащитных, теплоизоляционных и конструктивных материалов в условиях высокоскоростных космических летательных аппаратов (КЛА).

Задачи дисциплины

- изучение студентами основных способов организации тепловой защиты КЛА на всех этапах его эксплуатации;
- изучение физических процессов, сопровождающих теплоперенос в материалах и конструкциях из них в условиях эксплуатации в составе изделий отрасли;
- изучение характеристик процессов передачи тепла и способов их определения;
- выработка понимания у студентов проблемы определения характеристик материалов в наземных условиях и использования их для определения полей температур в условиях эксплуатации КЛА;
- изучение основных типов теплозащитных и теплоизоляционных материалов КЛА.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-2 Способен управлять исследовательским проектом на всех этапах его реализации	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
	УК-2.2 Способен прогнозировать результат деятельности и планировать последовательность шагов для достижения данного результата. Формирует план-график реализации проекта в целом и план контроля его выполнения
	УК-2.3 Способен организовать и координировать работу участников проекта, обеспечивать работу команды необходимыми ресурсами
	УК-2.4 Представляет публично результаты проекта (или отдельных его этапов) в форме отчетов, статей, выступлений на научно-практических конференциях, семинарах и т.п.

УК-3 Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной задачи	УК-3.1 Организует и координирует работу участников проекта, способствует конструктивному преодолению возникающих разногласий и конфликтов
	УК-3.2 Учитывает в своей социальной и профессиональной деятельности интересы, особенности поведения и мнения (включая критические) людей, с которыми работает/взаимодействует, в том числе посредством корректировки своих действий
	УК-3.3 Способен предвидеть результаты (последствия) как личных, так и коллективных действий
	УК-3.4 Способен планировать командную работу, распределять поручения членам команды, организовать обсуждение разных идей и мнений
ОПК-3 Способен определить физическую, естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, провести их качественный и количественный анализ	ОПК-3.1 Способен проводить анализ проблем и задач, возникающих при работе в области профессиональной деятельности
	ОПК-3.2 Способен применять знания в области технической физики для проведения качественного и количественного анализа задач, формулирования выводов и оценки полученных результатов

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основные способы организации тепловой защиты КЛА на всех этапах его эксплуатации;
- основы теории теплопроводности;
- основные подходы к решению прямых и обратных задач теплопроводности
- основы численных методов решения задач теплопроводности;
- основные классы теплозащитных и теплоизоляционных материалов и особенности их применения;
- основы феноменологической теории термического разложения.

уметь:

- ставить математически корректную задачу расчета прогрева элемента конструкции КЛА;
- определять доминирующие процессы, определяющие передачу тепла в теплозащитном материале;
- формулировать требования к теплофизическим характеристикам в соответствии с выбранной математической моделью теплопереноса в теплозащитном материале;
- оценивать неопределенности физико-математической модели теплопереноса и используемых теплофизических характеристик;
- анализировать экспериментальные данные;
- самостоятельно работать с учебной, методической и справочной литературой.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

		Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.
--	--	---

№	Тема (раздел) дисциплины	Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Основы теории теплопроводности		20		7
2	Теплоизоляционные материалы		10		8
3	Термически разлагающиеся материалы		10		10
4	Определение теплофизических и кинетических характеристик		10		10
5	Уносимые теплозащитные материалы		10		10
Итого часов			60		45
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 1 (Осенний)

1. Основы теории теплопроводности

Характеристика тепловых и механических нагрузок при движении тел в атмосфере. Основные физико-химические процессы, протекающие в ТЗП и на его поверхности при нагреве.

Уравнение теплопроводности. Понятие о коэффициентных задачах теплопроводности. Основные типы граничных условий и краевых задач. Критерии подобия. Примеры решения краевых задач для одномерного уравнения теплопроводности. Затухание влияния начальных данных и регулярный температурный режим.

Равновесная температура поверхности. Задача с подвижными границами. Скорость уноса и эффективная энтальпия материала. Квазистационарный фронт прогрева. Оценки толщины прогрева конструкций в физически различных ситуациях. Численные методы решения задач теплопроводности. Практическое занятие по численному решению задачи одномерного прогрева.

2. Теплоизоляционные материалы

Области применения. Пористые ТЗМ, их характеристики. Элементы теории фильтрации, закон Дарси. Уравнение теплопроводности в пористых материалах. Расчет температурного поля при наличии фильтрации. Особенности теплоизоляции при низких температурах. Криогенная пористая теплоизоляция. Экранно-вакуумная теплоизоляция. Практическое занятие по сравнению пористой и экранно-вакуумной теплоизоляции.

Семестр: 2 (Весенний)

3. Термически разлагающиеся материалы

Области применения термически разлагающихся материалов. Полное и предельное разложение материала. Определение зависимости плотности предельного разложения от температуры. Определение теплового эффекта реакции термического разложения. Понятие о кинетике термического разложения материалов. Описание изменения концентраций реагирующих веществ в изотермическом и неизотермическом процессе. Определение констант скорости реакции при изотермической и неизотермической кинетике. Полуаналитические и численные методы определения констант скорости реакций. Практическое занятие по сравнению различных численных методов определения констант скорости реакции.

Уравнение теплопроводности в термически разлагающихся материалах. Расчет поля температуры при прогреве термически разлагающихся материалов.

4. Определение теплофизических и кинетических характеристик

Коэффициентные задачи. Понятие об обратных задачах. Методы их решения. Определение зависимости теплопроводности от температуры по результатам экспериментов из решения ОЗТ. Проблемы выбора единственного решения. Постановка и проведение экспериментов. Интерпретация экспериментальных данных. Роль погрешностей эксперимента при определении зависимости теплопроводности от температуры. Методика определения зависимости теплопроводности от температуры в диапазоне температур до 3500К и темпов нагрева от 1 до 1000К/с.

5. Уносимые теплозащитные материалы

Область применения уносимых ТЗМ. Плавающие и сублимирующие материалы. Эффективная энтальпия и безразмерная скорость уноса. Методы их определения. Роль химических реакций в зоне прогрева и на поверхности. Кинетический, диффузионный и сублимационный режимы уноса массы с поверхности. Поведение ТЗМ в двухфазных потоках. Понятие об эрозионной энтальпии.

Изменение формы тел при их аэродинамическом разрушении. Постановка задачи. Общее уравнение обгара. Упрощающие допущения, анализ особых решений, конус Монжа, подход к численному решению уравнения обгара в осесимметричной постановке, малая асимметрия. Взаимное влияние изменения формы тела и траектории его движения.

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

Необходимое оборудование для практических занятий: учебная аудитория, компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, интерактивная доска).

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Конвективный теплообмен. Физические основы и вычислительные методы [Текст] = Physical and computational aspects of convective heat transfer, [монография]/Т. Себиси, П. Брэдшоу, -М., Мир, 1987
2. Основы теории пограничного слоя и теплопроводности [Текст] / А. А. Дородницын ; Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т - М.Изд-во МФТИ,1968
1. Никитин П.В. Тепловая защита. Москва, изд-во МАИ, 2006 г.
2. Экспериментальная отработка теплозащитных материалов и покрытий. Под ред. Землянского Б.А., Рудина Н.Ф., Сенкевич Е.А., Фадеева В.А., Королев МО, Изд-во ЦНИИмаш, 2010 г.
3. Власов В.И., Горшков А.Б., Залогин Г.Н., Землянский Б.А., Ковалёв Р.В., Лунёв В.В., Мурзинов И.Н. Конвективный теплообмен летательных аппаратов. Под ред. Землянского Б.А. Из-во ФИЗМАТЛИТ. 2014 г.

Дополнительная литература

1. Теплопроводность твердых тел [Текст]/Р. Берман, -М., Мир, 1979
2. Физическая химия [Текст] : учебник для вузов / А. А. Жуховицкий, Л. А. Шварцман .— 5-е изд., стереотип. — М. : Металлургия, 2001 .— 688 с.

1. Г. Карслоу, Д. Егер, Теплопроводность твердых тел, М., Наука, 1964
2. А.В. Лыков, Теория теплопроводности, М., Высшая школа, 1967
- 3 Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике, Под ред. проф. В.К. Кошкина, М., Машиностроение, 1975
4. Ю.В. Полежаев, Ф.Б. Юревич, Тепловая защита. М., «Энергия», 1976
5. А.Г. Стромберг, Д.П. Семченко. Физическая химия. Москва, Высшая школа, 1988г.
6. О.Ф. Шленский, Н.В.Афанасьев, А.Г.Шашков. Терморазрушение материалов. Москва, Энергоатомиздат, 1996
7. Мадорский С.Л. Термическое разложение органических полимеров. М.: Мир, 1967, 328 с.
8. Алифанов О.М. Обратные задачи теплообмена. М., Машиностроение, 1988

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. <http://lib.mipt.ru/> – электронная библиотека Физтеха
2. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».
3. <http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Microsoft Windows 2000+, Microsoft Office PowerPoint 2007 +, Windows Media Player.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Успешное освоение курса требует большой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам семинаров, учебной и научной литературе);
- решение задач, предлагаемых студентам на практических занятиях;
- подготовку к контрольным, самостоятельным работам и тестам.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате анализа итогов контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также индивидуальных консультаций. Показателем владения материалом служит умение решать задачи. Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо решать как можно больше задач.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Техническая физика
профиль подготовки:	Техническая физика космических летательных аппаратов Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра космических летательных аппаратов
курс:	1
квалификация:	магистр
Семестры, формы промежуточной аттестации:	
	1 (осенний) - Зачет
	2 (весенний) - Экзамен
Разработчик:	Е.А. Сенкевич, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-2 Способен управлять исследовательским проектом на всех этапах его реализации	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
	УК-2.2 Способен прогнозировать результат деятельности и планировать последовательность шагов для достижения данного результата. Формирует план-график реализации проекта в целом и план контроля его выполнения
	УК-2.3 Способен организовать и координировать работу участников проекта, обеспечивать работу команды необходимыми ресурсами
	УК-2.4 Представляет публично результаты проекта (или отдельных его этапов) в форме отчетов, статей, выступлений на научно-практических конференциях, семинарах и т.п.
УК-3 Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной задачи	УК-3.1 Организует и координирует работу участников проекта, способствует конструктивному преодолению возникающих разногласий и конфликтов
	УК-3.2 Учитывает в своей социальной и профессиональной деятельности интересы, особенности поведения и мнения (включая критические) людей, с которыми работает/взаимодействует, в том числе посредством корректировки своих действий
	УК-3.3 Способен предвидеть результаты (последствия) как личных, так и коллективных действий
	УК-3.4 Способен планировать командную работу, распределять поручения членам команды, организовать обсуждение разных идей и мнений
ОПК-3 Способен определить физическую, естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, провести их качественный и количественный анализ	ОПК-3.1 Способен проводить анализ проблем и задач, возникающих при работе в области профессиональной деятельности
	ОПК-3.2 Способен применять знания в области технической физики для проведения качественного и количественного анализа задач, формулирования выводов и оценки полученных результатов

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Теплозащита летательных аппаратов» обучающийся должен:

знать:

- основные способы организации тепловой защиты КЛА на всех этапах его эксплуатации;
- основы теории теплопроводности;
- основные подходы к решению прямых и обратных задач теплопроводности
- основы численных методов решения задач теплопроводности;
- основные классы теплозащитных и теплоизоляционных материалов и особенности их применения;
- основы феноменологической теории термического разложения.

уметь:

- ставить математически корректную задачу расчета прогрева элемента конструкции КЛА;
- определять доминирующие процессы, определяющие передачу тепла в теплозащитном материале;
- формулировать требования к теплофизическим характеристикам в соответствии с выбранной математической моделью теплопереноса в теплозащитном материале;
- оценивать неопределенности физико-математической модели теплопереноса и используемых теплофизических характеристик;
- анализировать экспериментальные данные;
- самостоятельно работать с учебной, методической и справочной литературой.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Текущий контроль осуществляется в форме контрольных/самостоятельных работ или тестов в письменной форме по каждой теме.

Каждое задание в контрольных самостоятельных и тестовых работах оценивается определенным количеством баллов в конце условия каждого задания.

Контрольная работа №1 по теме «Основы теории теплопроводности»

Вариант 1

1. Основные физико-химические процессы, протекающие в ТЗП и на его поверхности, при движении КЛА в атмосфере (2)
2. Уравнение теплопроводности в одномерном приближении в декартовой системе координат. Основные типы граничных условий и краевых задач. (3)
3. Равновесная температура поверхности. Задача с подвижными границами. (2)
4. Автомодельные решения уравнения теплопроводности (4)
5. Сформулировать математическую задачу определения теплового потока к неуносимой непроницаемой поверхности по результатам измерения температур (3)

Вариант 2

1. Основные способы тепловой защиты КЛА (2)
2. Уравнение теплопроводности в одномерном приближении в цилиндрической системе координат. Основные типы граничных условий и краевых задач. (3)
3. Скорость уноса и эффективная энтальпия материала. Квазистационарный фронт прогрева. (2)
4. Затухание влияния начальных данных и регулярный температурный режим. (4)
5. Сформулировать математическую задачу определения теплопроводности по результатам измерения температур (3)

Контрольная работа №2 по теме «Теплоизоляционные материалы»

Вариант 1

1. Классы теплоизоляционных материалов и области их применения (2).
2. Уравнение теплопроводности в пористых материалах. Закон Дарси (3).
3. Особенности теплоизоляции при низких температурах (2).
4. Экранно-вакуумная теплоизоляция. (2)
5. Сделать оценку минимальной теплопроводности пористых материалов в нормальных условиях. Дать обоснование. (5)

Вариант 2

1. Классы теплоизоляционных материалов и особенности их применения (3).
2. Уравнение теплопроводности в пористых материалах. Закон Дарси (3).
3. Особенности применения пористой теплоизоляции при умеренном теплосиловом воздействии (2).
4. Характеристики пористых ТЗМ (2)
5. Сделать оценку необходимого количества слоев экранно-вакуумной теплоизоляции для уменьшения интенсивности теплового воздействия в 10 раз (5).

Контрольная работа №3 по теме «Термически разлагающиеся материалы»

Вариант 1

1. Области применения термически разлагающихся материалов (2).
2. Уравнение теплопроводности в термически разлагающихся материалах (3).
3. Основные допущения описания термического разложения материала (2).
4. Температура и плотность полного термического разложения материала. (3).
5. Способ определения зависимости плотности предельного термического разложения от температуры (4).

Вариант 2

1. Особенности использования термически разлагающихся материалов (2).
2. Уравнение теплопроводности в термически разлагающихся материалах (3).
3. Основные допущения описания термического разложения материала (2).
4. Предельное разложение материала. Зависимость плотности предельного термического разложения материала от температуры. (3).
5. Способ определения температуры и плотности полного термического разложения материала. Теплостойкость термически разлагающегося материала. (4).

Контрольная работа №4 по теме «Определение теплофизических и кинетических характеристик»

Вариант 1

1. Описание изменения концентраций активного компонента при термическом разложении материала при нагреве (4)
2. Коэффициентные задачи теплопроводности как обратные задачи. Основные методы их решения. (3).
3. Определение теплопроводности материала на основе использования регулярного режима теплопередачи. (3).
4. Тепловой эффект реакции термического разложения. Пример способа его определения (4)

Вариант 2

1. Применение экспериментально полученных энергии активации и предэкспоненциального множителя реакции термического разложения активного компонента для расчетов состояния термически разлагающегося материала при его нагреве в условиях эксплуатации в составе КЛА. (4)
2. Коэффициентные задачи теплопроводности как обратные задачи. Требования к их постановке для получения основных теплофизических характеристик. (4).
3. Определение температуропроводности материала методом лазерной вспышки (3).
4. Теплостойкость термического разлагающегося материала. Пример способа ее определения (3)

Контрольная работа №5 по теме «Уносимые теплозащитные материалы»

Вариант 1

1. Область применения уносимых ТЗМ. Плавающие и сублимирующие материалы (3)
2. Кинетический и диффузионный режимы уноса массы с поверхности (2).
3. Эффективная энтальпия и методы ее определения (2).
4. Изменение формы тел при их аэродинамическом разрушении. Общее уравнение обгара (5)
5. Взаимное влияние изменения формы тела и траектории его движения (2)

Вариант 2

1. Область применения уносимых ТЗМ. Роль химических реакций в зоне прогрева и на поверхности (3)
2. Сублимационный и диффузионный режимы уноса массы с поверхности (2).
3. Безразмерная скорость уноса и методы ее определения (2).
4. Изменение формы тел при их аэродинамическом разрушении. Общее уравнение обгара (5)
5. Влияние изменения формы тела на его аэродинамические характеристики (2)

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Промежуточная аттестация по дисциплине «Теплозащита летательных аппаратов» осуществляется в форме зачета в 1 семестре и в форме экзамена во 2 семестре.

Примеры экзаменационных билетов:

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

1. Основные физико-химические процессы, протекающие в ТЗП и на его поверхности, при движении КЛА в атмосфере
2. Уравнение теплопроводности в пористых материалах. Закон Дарси.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2

1. Уравнение теплопроводности. Основные типы граничных условий и краевых задач.
2. Особенности теплоизоляции при низких температурах. Криогенная пористая теплоизоляция. Экранно-вакуумная теплоизоляция.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 3

1. Критерии подобия задачи теплопроводности.
2. Описание изменения концентраций реагирующих веществ в изотермическом и неизотермическом процессе.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 4

1. Автомодельные решения уравнения теплопроводности.
2. Пористые ТЗМ, их характеристики.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 5

1. Теорема Дюамеля и связь температуры и теплового потока на поверхности тела.
2. Коэффициентные задачи теплопроводности как обратные задачи. Методы их решения.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 6

1. Затухание влияния начальных данных и регулярный температурный режим.
2. Определение зависимости теплопроводности от температуры по результатам экспериментов из решения ОЗТ.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 7

1. Источникообразные решения уравнения теплопроводности.
2. Определение зависимости температуропроводности методом лазерной вспышки.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 8

1. Скорость уноса и эффективная энтальпия материала. Уравнение теплопроводности с подвижными границами.
2. Изменение формы тел при их аэродинамическом разрушении. Общее уравнение обгара.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 9

1. Численные методы решения задач теплопроводности.
2. Основные принципы численному решению уравнения обгара.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 10

1. Уравнение теплопроводности. Основные типы граничных условий и краевых задач
2. Полное и предельное разложение материала. Определение зависимости плотности предельного разложения от температуры.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 11

1. Автомодельные решения уравнения теплопроводности.
2. Упрощающие допущения уравнения обгара, особые решения.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 12

1. Уравнение теплопроводности. Задача с подвижными границами. Квазистационарный фронт прогрева.
2. Эффективная энтальпия и безразмерная скорость уноса. Методы их определения.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 13

1. Коэффициентные задачи теплопроводности.
2. Кинетический, диффузионный и сублимационный режимы уноса массы с поверхности.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 14

1. Источникообразные решения уравнения теплопроводности.
2. Уравнение Аррениуса. Учет изменения температуры в эксперименте по определению констант уравнения Аррениуса.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 15

1. Уравнение теплопроводности. Критерии подобия уравнения теплопроводности. Численные методы решения.
2. Теплофизические характеристики материала следствие математической модели теплопереноса.

Критерии оценивания

Оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины, а также по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов;

оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины, а также по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов;

оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины, а также по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов;

оценка «хорошо (7)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, если он твердо знает материал экзаменационного билета, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;

оценка «хорошо (6)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, если он знает материал экзаменационного билета, по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе много неточностей;

оценка «хорошо (5)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, если он знает материал экзаменационного билета, излагает его, умеет применять полученные знания на практике, не допускает в ответе грубых ошибок;

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также, если во время ответа экзаменационного билета он показал фрагментарный, характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения;

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также, если во время ответа экзаменационного билета он показал разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушение логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации; оценка «неудовлетворительно (2-1)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также, если во время ответа экзаменационного билета, он показал что не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Порядок проведения контрольных работ/тестов:

Во время проведения контрольных работ/тестов обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, калькуляторами, справочными материалами.

Зачет проводится по итогам текущей успеваемости: по результатам контрольных, самостоятельных работ/тестов по первой теме и путем организации специального опроса в устной форме, если результатом выполнения контрольной работы является оценка неудовлетворительно или оценка отсутствует по уважительной причине.

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 60 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.

Во время проведения экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной и любой другой литературой, вычислительной техникой и др.).

Перед началом экзаменационной сессии студенты получают перечень вопросов, ответы на которые необходимо знать для успешной сдачи экзамена.

Ответ студента оценивается по 10-балльной шкале.