

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

УТВЕРЖДЕНО

**Директор института-заместитель
директора ФАКТ**

М.А. Кудров

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Аэродинамическое нагревание
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Авиационные технологии
	Физтех-школа авиационных и цифровых технологий
	кафедра аэрофизики и летательных аппаратов
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Дифференцированный 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: А.С. Скуратов, д-р техн. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры аэрофизики и летательных аппаратов 04.03.2025

Аннотация

При создании гиперзвукового летательного аппарата (ГЛА) перед разработчиками-тепловиками стоят две основные задачи: определить тепловые нагрузки к поверхности аппарата и подобрать адекватную им и задачам аппарата тепловую защиту. Курс лекций даёт представление об этих задачах и описывает пути и методы их решения. Кратко излагаются основные положения теории подобия, даётся определение гиперзвука. Значительное внимание уделяется инженерным методам расчёта теплового потока к телам простой формы. Даётся представление о механизмах ламинарно-турбулентного перехода, его источниках и важности учёта перехода в задачах теплообмена. Описываются аэродинамические установки и их принципы работы для проведения тепловых испытаний при сверх- и гиперзвуковых скоростях. В завершение даётся обзор методов тепловой защиты поверхностей ГЛА, а также приводятся примеры тепловых исследований, выполненных для элементов теплозащиты в аэродинамических трубах ЦАГИ.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- знакомство студентов с основами аэродинамического нагрева и теплозащиты гиперзвуковых летательных аппаратов (ГЛА), дисциплины, лежащей на стыке гиперзвуковой аэродинамики и материаловедения, а также смежных дисциплин, обеспечивающих полноценное научное сопровождение экспериментального и теоретического определения нагрева конструкций современного ГЛА, разработки новых методов снижения температуры, проектирования и испытаний теплозащитных конструкций. Курс содержит как теоретические основы аэротермодинамики, так и сведения о методах и средствах экспериментальных исследований.

Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний в области гиперзвуковой аэротермодинамики и пограничного слоя;
- формирование основных методов теоретического, численного и экспериментального исследований;
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области гиперзвуковой аэротермодинамики в рамках выпускных работ на степень магистра.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики;
- порядки численных величин, характерные для различных разделов физики;
- современные проблемы физики, математики;
- современное положение дел в проблеме идентификации физических механизмов аэродинамического нагрева;
- разновидности современных способов экспериментального исследования аэродинамического нагрева и теплозащиты и физические принципы, на которых они основаны.

уметь:

- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- производить численные оценки по порядку величины;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- видеть в технических задачах физическое содержание;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- выводить основные уравнения аэроакустики и понимать их физический смысл основных уравнений гиперзвуковой аэродинамики и теплопроводности;
- пользоваться аппаратом инженерной оценки уровня нагрева ГЛА, включая области интерференции, знать основные положения теории ламинарно-турбулентного перехода пограничного слоя;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
- навыками теоретического анализа реальных задач аэротермодинамики.

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

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Введение. Проблема аэродинамического нагрева и теплозащиты. ГЛА различного назначения		5		5
2	Определяющие параметры гиперзвуковых течений реального газа. Элементарная теория аэродинамического подобия		5		5
3	Классификация режимов обтекания ГЛА		5		
4	Неравновесные физико-химические процессы, происходящие в высокотемпературном газе.		5		5

5	Некоторые методы расчета конвективных тепловых потоков к каноническим телам (сфера, цилиндр, торец, конус, пластина)		5		
6	Ламинарно-турбулентный переход в пограничном слое на поверхности ГЛА		5		
7	Теплообмен в особых областях ГЛА		10		10
8	Использование аэродинамических труб (АДТ) для исследования аэродинамического нагрева ГЛА		10		10
9	Методы тепловой защиты ГЛА		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. Введение. Проблема аэродинамического нагрева и теплозащиты. ГЛА различного назначения

Проблема аэродинамического нагрева и теплозащиты. ГЛА различного назначения. Примеры аэродинамического нагрева ГЛА на примерах исследований в России и за рубежом.

2. Определяющие параметры гиперзвуковых течений реального газа. Элементарная теория аэродинамического подобия

Определяющие параметры гиперзвуковых течений реального газа. Элементарная теория аэродинамического подобия. Роль частичного моделирования в аэродинамических трубах. Траектории характерных видов ГЛА. Стандартная атмосфера

3. Классификация режимов обтекания ГЛА

Классификация режимов обтекания ГЛА. Вязкий ударный слой. Режим вихревого взаимодействия. Режим пограничного слоя. Поглощение энтропийного слоя. Вязко-невязкое взаимодействие.

4. Неравновесные физико-химические процессы, происходящие в высокотемпературном газе.

Неравновесные физико-химические процессы, происходящие в высокотемпературном газе и их влияние на аэродинамику и теплообмен. Замороженное и равновесное течение за ударной волной. Бинарное подобие.

5. Некоторые методы расчета конвективных тепловых потоков к каноническим телам (сфера, цилиндр, торец, конус, пластина)

Некоторые методы расчета конвективных тепловых потоков к каноническим телам (сфера, цилиндр, торец, конус, пластина). Радиационно-равновесная температура. Формулы для расчетов ламинарного и турбулентного теплообмена на пластине и конусе.

6. Ламинарно-турбулентный переход в пограничном слое на поверхности ГЛА

Ламинарно-турбулентный переход в пограничном слое на поверхности ГЛА. Критерии перехода. Роль нерегулярностей поверхности в турбулизации пограничного слоя.

Семестр: 2 (Весенний)

7. Теплообмен в особых областях ГЛА

Теплообмен в особых областях ГЛА: отрывные области, области интерференции скачков уплотнения с пограничным слоем, теплообмен в областях нерегулярностей поверхности (уступы, каверны, зазоры) и т. д. на примере исследований перспективных многоблочных компоновок ракет-носителей. Методы расчета температуры и давления.

8. Использование аэродинамических труб (АДТ) для исследования аэродинамического нагрева ГЛА

Использование аэродинамических труб (АДТ) для исследования аэродинамического нагрева ГЛА. Типы АДТ. Принципы моделирования. Методы исследования теплообмена: непрерывные (термоиндикаторы, люминофоры), дискретные (датчики). Перенос результатов измерения на условия натурного полета.

9. Методы тепловой защиты ГЛА

Способы тепловой защиты ГЛА: поглощение тепла, излучение, абляция, активные способы. Границы применения различных способов теплозащиты. Методы расчета некоторых видов теплозащиты.

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

учебная аудитория, оснащенная мультимедиапроектором и экраном.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике [Текст] : учеб. пособие для вузов / под ред. В. К. Кошкина. — М. : Машиностроение, 1975. — 623 с.
2. Асимптотическая теория сверхзвуковых течений вязкого газа [Текст]/В. Я. Нейланд [и др.], -М., Физматлит, 2004

Дополнительная литература

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

Информационные ресурсы: Журналы по механике жидкости и газа (МЖГ, ПМТФ, Ученые Записки ЦАГИ, AIAA Journal, труды конференций AIAA, ИКМАР и др.).

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

мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

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

Студент, изучающий дисциплину "Аэродинамическое нагревание", должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения, понятия, аксиомы.

Успешное освоение курса требует напряжённой 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 лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- подготовку к дифференцированному зачету и экзамену.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к лектору.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Авиационные технологии Физтех-школа авиационных и цифровых технологий кафедра аэрофизики и летательных аппаратов
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 2 (весенний) - Экзамен

Разработчик: А.С. Скуратов, д-р техн. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Аэродинамическое нагревание» обучающийся должен:

знать:

- фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики;
- порядки численных величин, характерные для различных разделов физики;
- современные проблемы физики, математики;
- современное положение дел в проблеме идентификации физических механизмов аэродинамического нагревания;
- разновидности современных способов экспериментального исследования аэродинамического нагревания и теплозащиты и физические принципы, на которых они основаны.

уметь:

- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- производить численные оценки по порядку величины;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- видеть в технических задачах физическое содержание;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- выводить основные уравнения аэроакустики и понимать их физический смысл основных уравнений гиперзвуковой аэродинамики и теплопроводности;
- пользоваться аппаратом инженерной оценки уровня нагрева ГЛА, включая области интерференции, знать основные положения теории ламинарно-турбулентного перехода пограничного слоя;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
- навыками теоретического анализа реальных задач аэротермодинамики.

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

Текущий контроль заключается в учете посещения студентами семинаров, а также в учете тех или иных видов активности студентов на семинарах: выполнения домашних заданий, решения задач на семинаре, обсуждения возникающих вопросов по текущему материалу и т.п. Данные по текущему контролю учитываются как при выставлении оценок по дифференцированному зачету в осеннем семестре, так и при выставлении итоговой оценки по экзамену в весеннем семестре. При выставлении итоговой оценки первостепенное значение придается ответу на экзамене.

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

Примерные вопросы к дифференцированному зачету:

1. Пограничный слой на пластине
2. Сфера $R=0.5$ м летит на высоте $H=50$ км с числом $M=10$. Определить равновесную температуру в критической точке сферы и в точке, отстоящей от нее на угол $\varphi=45^\circ$. Считать $\gamma=0.8$ и $h_w/h_{s1} = 0.10310^{-2}$ кг/м³, $T=271$ К
3. Коэффициенты трения и теплоотдачи. Равновесная температура
4. На пластину, на которой существует ламинарный пограничный слой, падает скачок уплотнения, создающий перепад давления $P_{\max}/P=5$. Равновесная температура в области интерференции составляет при этом $T_w=1700$ К. Внезапно пограничный слой на пластине по каким-то причинам становится турбулентным. Определить T_w в зоне интерференции при условии, что тепловой поток без скачка в турбулентном пограничном слое в 2 раза больше, чем в ламинарном пограничном слое
5. Приближенные формулы для расчета теплового потока в критической точке
6. Пластина летит в атмосфере на высоте $H=20$ км с числом $M=5$. Определить координату X_t начала ламинарно-турбулентного перехода пограничного слоя при условии, что число Рейнольдса начала перехода $Re_t=6106$. Считать $\gamma=0.10310^{-2}$ кг/м³, $\mu=0.14210^{-4}$ Пас, $T=217$ К
7. Параметры подобия, определяющие силовое и тепловое воздействие потока на обтекаемое тело
8. Определить эффективную высоту единичной неровности на пластине, летящей в атмосфере на высоте $H=10$ км с числом $M=4$. Считать $\gamma=0.41410^{-2}$ кг/м³, $\mu=0.14610^{-4}$ Пас, $T=223$ К. Неровность расположена на расстоянии $X=0.05$ м от передней кромки.
9. Характерные области влияния единичной неровности на ламинарно-турбулентный переход пограничного слоя
10. Равновесная температура на поверхности пластины при ее ламинарном обтекании была $T_w=1500$ К. Внезапно на пластину падает скачок уплотнения, который создал перепад давления $P_{\max}/P=3$. Определить равновесную температуру поверхности в зоне падения скачка

Примерный список вопросов к экзамену:

1. Основные возмущения, вызывающие ламинарно-турбулентный переход пограничного слоя
2. Рассчитать толщину вытеснения пограничного слоя на пластине на расстоянии $X=0.3$ м от передней кромки. Пластина установлена в аэродинамической трубе и обтекается воздухом при числе $M=6$. Параметры торможения: $P_0=10$ ат, $T_0=600$ К. Для расчетов использовать соотношения для совершенного газа, коэффициент вязкости рассчитать по формуле Сазерленда
3. Зависимость числа Рейнольдса начала ламинарно-турбулентного перехода на остром конусе от числа M . Сравнение летных и трубных данных.
4. Определить равновесную температуру на поверхности плоского торца $R=0.1$ м, летящего на высоте $H=30$ км с числом $M=8$. Считать $\gamma=0.7$ и $h_w/h_{s1} = 0.18410^{-2}$ кг/м³, $T=227$ К
5. Способы тепловой защиты
6. Сфера $R=1$ м летит в атмосфере. Первоначально величина интегральной степени черноты была $\epsilon=0.8$. Но в результате деградации теплозащиты через какое-то время стала 0.6, а эффективный радиус сферы в окрестности критической точки стал $R=0.6$ м. Определить, на сколько процентов изменилась равновесная температура в критической точке, и в какую сторону
7. Ламинарно-турбулентный переход пограничного слоя. Общие положения. Примеры.

8. Определить равновесную температуру на поверхности плоского торца $R=0.2$ м, летящего на высоте $H=30$ км с числом $M=6$. Считать $\mu=0.7$ и $\rho_w/\rho_{sl} = 0.184 \cdot 10^{-2}$ кг/м³, $T=227$ К
9. Турбулизация пограничного слоя единичной неровностью. Основные режимы
10. Определить эффективную высоту единичной неровности на пластине, летящей в атмосфере на высоте $H=10$ км с числом $M=3$. Считать $\mu=0.41 \cdot 10^{-2}$ кг/м³, $\mu=0.146 \cdot 10^{-4}$ Пас, $T=223$ К. Неровность расположена на расстоянии $X=0.1$ м от передней кромки.

Варианты билетов:

Билет №1

1. Методы измерения теплового потока в гиперзвуковых аэродинамических трубах
2. Рассчитать толщину пограничного слоя на пластине на расстоянии $X=0.3$ м от передней кромки. Пластина установлена в аэродинамической трубе и обтекается воздухом при числе $M=6$. Параметры торможения: $P_0=100$ ат, $T_0=700$ К. Для расчетов использовать соотношения для совершенного газа, коэффициент вязкости рассчитать по формуле Сазерленда

Билет №2

1. Отрывное течение в угле сжатия. Основные черты. Распределение давления и теплового потока
2. Сфера $R=0.5$ м летит в атмосфере. Первоначально величина интегральной степени черноты была $\epsilon=0.8$. Но в результате деградации теплозащиты через какое-то время стала 0.7, а эффективный радиус сферы в окрестности критической точки стал $R=0.3$ м. Определить, на сколько процентов изменилась равновесная температура в критической точке, и в какую сторону

Билет №3

1. Принципы частичного моделирования процессов теплообмена в гиперзвуковых аэродинамических трубах
2. На пластину, на которой существует ламинарный пограничный слой, падает скачок уплотнения, создающий перепад давления $P_{\max}/P=4$. Равновесная температура в области интерференции составляет при этом $T_w=1600$ К. Внезапно пограничный слой на пластине по каким-то причинам становится турбулентным. Определить T_w в зоне интерференции при условии, что тепловой поток без скачка в турбулентном пограничном слое в 2.2 раза больше, чем в ламинарном пограничном слое

Билет №4

1. Основные критерии подобия при моделировании теплообмена в аэродинамических трубах
2. Рассчитать толщину пограничного слоя на пластине на расстоянии $X=0.3$ м от передней кромки. Пластина установлена в аэродинамической трубе и обтекается воздухом при числе $M=6$. Параметры торможения: $P_0=100$ ат, $T_0=700$ К. Для расчетов использовать соотношения для совершенного газа, коэффициент вязкости рассчитать по формуле Сазерленда

Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

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

Во время проведения дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой, конспектами лекций.

Дифференцированный зачет может проводиться по итогам текущей успеваемости и сдачи заданий, или путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.

Во время проведения экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой.

Экзамен проводится путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.