

**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:	Численные методы в аэроупругости
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Авиационные технологии
	Физтех-школа авиационных и цифровых технологий
	кафедра прочности летательных аппаратов
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Зачет

2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 60 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: М.М. Левченко

Программа обсуждена на заседании кафедры прочности летательных аппаратов 04.06.2020

Аннотация

Курс лекций содержит основы прикладных методов расчета стационарных и нестационарных аэродинамических характеристик летательных аппаратов, применимых к задачам аэроупругости и нормирования нагрузок. Основное внимание уделено отечественным численным методам, разработанным научной школой С.М. Белоцерковского, получившим развитие в работах Г.И. Турчанникова. Рассмотрены вопросы постановки общей задачи обтекания ЛА, построения его расчетных схем для получения стационарных и нестационарных аэродинамических характеристик, контроля точности расчетов, влияния нестационарности изменения аэродинамических сил на нагружение пилонов и двигателей самолета с крылом большого удлинения, нормирования нагрузок на агрегаты самолета при полете в неспокойном воздухе с учетом нестационарности нагружения.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

изучение теоретических основ и прикладных методов расчета стационарных и нестационарных аэродинамических характеристик летательных аппаратов, используемых при решении задач аэроупругости и нормирования нагрузок на агрегаты ЛА.

Задачи дисциплины

- обеспечение точности вычисления аэродинамических характеристик ЛА на протяжении его жизненного цикла, начиная с этапа проектирования и заканчивая расчетно-методическим сопровождением мониторинга напряженно-деформированного состояния конструкции в эксплуатации, является важной и сложной задачей, тесно связанной с вопросами обеспечения безопасности полетов и минимизации веса.

Изучение методов расчета нестационарных аэродинамических характеристик способствует формированию правильных подходов к нормированию нагрузок на агрегаты ЛА.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- теоретические основы численных методов определения аэродинамических характеристик летательных аппаратов (основные уравнения, начальные и граничные условия);
- практические подходы к определению аэродинамических характеристик летательных аппаратов (последовательность проведения расчетов, схемы дискретизации несущей поверхности, границы применимости);
- связанные с учетом нестационарности особенности нагружения и нормирования нагрузок, действующих на отдельные агрегаты ЛА.

уметь:

- использовать численные методы определения стационарных и нестационарных аэродинамических характеристик летательных аппаратов;
- критически анализировать результаты расчетов.

владеть:

- навыками построения схем аэродинамической дискретизации несущей поверхности летательного аппарата;
- навыками получения аэродинамических характеристик новых летательных аппаратов на основе имеющихся результатов расчетов для летательных аппаратов со схожей конфигурацией.

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	Аэроупругость	1			2
2	Геометрические параметры крыльев с прямыми кромками	1			2
3	Кинематические параметры продольного движения	1			2
4	Передаточная функция и ее связь с коэффициентами	1			2
5	Коэффициенты присоединенных масс.	1			2
6	Пересчет аэродинамических коэффициентов на другие характерные размеры.	2			2
7	Основные уравнения движения жидкости и газа	1			2
8	Линеаризация уравнений аэроупругости	2			1
9	Общая постановка задач обтекания ЛА	2			
10	Вопросы схематизации ЛА. Модель схематизированного ЛА	2			
11	Поле скоростей косого стационарного вихря.	2			
12	Расчет напряженности вихрей при циркуляционном обтекании	4			
13	Аэродинамические коэффициенты	3			
14	Нестационарные аэродинамические теории.	2			
15	Поле скоростей косого нестационарного вихря при малых числах Струхала.	2			
16	Система уравнений для определения интенсивности дискретных аэродинамических особенностей	1			
17	Система уравнений для определения интенсивности	1			
18	Система уравнений для определения напряженности вихрей	1			
19	Расчет нестационарных коэффициентов аэродинамических производных в сжимаемой среде	3			2
20	Расчет коэффициентов аэродинамических производных давления	3			2

21	Коэффициенты аэродинамических производных	2			2
22	Метод расчета аэродинамических характеристик ЛА	4			2
23	Потенциал скоростей дискретного нестационарного вихря	4			2
24	Потенциал скоростей, индуцируемый нестационарным вихрем, напряженность которого меняется скачкообразно.	4			2
25	Расчет аэродинамических характеристик в частотной области	2			
26	Некоторые точные решения для крыла бесконечного удлинения (функции Вагнера, Кюсснера, Сирса).	2			1
27	Контроль точности определения аэродинамических характеристик по различным методам.	4			1
28	Применение нестационарных аэродинамических методов	2			1
Итого часов		60			30
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 1 (Осенний)

1. Аэроупругость

Аэроупругость, ее место среди других дисциплин, основные уравнения

2. Геометрические параметры крыльев с прямыми кромками

Геометрические параметры крыльев с прямыми кромками (трапециевидные симметричные крылья). Крылья сложной формы в плане (оживальные, с переменной стреловидностью).

3. Кинематические параметры продольного движения

Кинематические параметры продольного движения упругого ЛА, подверженного внешним воздействиям.

4. Передаточная функция и ее связь с коэффициентами

Передаточная функция и ее связь с коэффициентами аэродинамических производных порыва. Переходные функции.

5. Коэффициенты присоединенных масс.

Коэффициенты присоединенных масс. Свойство симметрии. Присоединенная кинетическая энергия. Определение присоединенных масс поступательно движущегося цилиндра, шара и эллипсоида.

6. Пересчет аэродинамических коэффициентов на другие характерные размеры.

Пересчет аэродинамических коэффициентов на другие характерные размеры. Пересчет аэродинамических коэффициентов на другие оси.

7. Основные уравнения движения жидкости и газа

Основные уравнения движения жидкости и газа: уравнение неразрывности, уравнение движения невязкого газа.

8. Линеаризация уравнений аэроупругости

Линеаризация уравнений аэроупругости (интеграла Коши-Лагранжа, уравнения неразрывности). Аэромеханика упругого летательного аппарата, аэродинамические силы, деформации упругой конструкции, дивергенция несущих поверхностей.

9. Общая постановка задач обтекания ЛА

Общая постановка задач обтекания ЛА. Начальные и граничные условия. Линейная постановка задачи обтекания ЛА.

10. Вопросы схематизации ЛА. Модель схематизированного ЛА

Вопросы схематизации ЛА. Модель схематизированного ЛА для расчета стационарных характеристик. Дискретизация схемы ЛА.

11. Поле скоростей косоугольного стационарного вихря.

Описание поля скоростей косоугольного стационарного вихря. Периодическая остановка вязкого слоя, цилиндрические вихри, продольный градиент скорости.

12. Расчет напряженности вихрей при циркуляционном обтекании

Расчет напряженности вихрей при циркуляционном обтекании. Условия непротекания для стационарной задачи. Теорема Жуковского «в малом». Граничные условия на тонкой несущей поверхности.

13. Аэродинамические коэффициенты

Аэродинамические коэффициенты. Суммарные и распределенные линейные аэродинамические характеристики. Некоторые точные решения для нестационарных характеристик профиля (задача Вагнера, задача Кюсснера).

14. Нестационарные аэродинамические теории.

Нестационарные аэродинамические теории. Косой подковообразный вихрь при неустановившемся движении. Случай гармонической зависимости от времени.

15. Поле скоростей косоугольного нестационарного вихря при малых числах Струхала.

Описание поля скоростей косоугольного нестационарного вихря при малых числах Струхала. Ускоряющийся поток, уравнение Бернулли для верхней границы объема, продольный градиент давления.

16. Система уравнений для определения интенсивности дискретных аэродинамических особенностей

Система уравнений для определения интенсивности дискретных аэродинамических особенностей в случае гармонических колебаний жесткого крыла.

17. Система уравнений для определения интенсивности

Система уравнений для определения интенсивности дискретных аэродинамических особенностей при деформациях крыла.

18. Система уравнений для определения напряженности вихрей

Система уравнений для определения напряженности вихрей при воздействии на крыло гармонического порыва. Замкнутый контур, вихревые линии.

Семестр: 2 (Весенний)

19. Расчет нестационарных коэффициентов аэродинамических производных в сжимаемой среде

Расчет нестационарных коэффициентов аэродинамических производных в сжимаемой среде. Случай медленных гармонических колебаний. Связь между аэродинамическими производными потенциала в сжимаемой и несжимаемой средах.

20. Расчет коэффициентов аэродинамических производных давления

Расчет коэффициентов аэродинамических производных давления в сжимаемой и несжимаемой средах. Нагрузки в сжимаемой и несжимаемой средах.

21. Коэффициенты аэродинамических производных

Коэффициенты аэродинамических производных суммарных сил и моментов по крылу в сжимаемой и несжимаемой средах.

22. Метод расчета аэродинамических характеристик ЛА

Метод расчета аэродинамических характеристик ЛА при произвольном неустановившемся движении на дозвуковых скоростях.

23. Потенциал скоростей дискретного нестационарного вихря

Потенциал скоростей дискретного нестационарного вихря при произвольном изменении его интенсивности. Основные положения построения расчетной схемы вихревой системы.

24. Потенциал скоростей, индуцируемый нестационарным вихрем, напряженность которого меняется скачкообразно.

Потенциал скоростей, индуцируемый нестационарным вихрем, напряженность которого меняется скачкообразно. Рациональный путь решения линейных нестационарных задач аэродинамики. Применение интеграла Дюамеля для описания произвольных законов изменения граничных условий.

25. Расчет аэродинамических характеристик в частотной области

Расчет аэродинамических характеристик в частотной области. Уточнение деформационной задачи. Постепенный вход в порыв.

26. Некоторые точные решения для крыла бесконечного удлинения (функции Вагнера, Кюсснера, Сирса).

Некоторые точные решения для крыла бесконечного удлинения (функции Вагнера, Кюсснера, Сирса). Некоторые нестационарные характеристики для крыла конечного удлинения.

27. Контроль точности определения аэродинамических характеристик по различным методам.

Контроль точности определения аэродинамических характеристик по различным методам. Влияние нестационарности изменения аэродинамических сил на нагружение пилонов и двигателей самолета с крылом большого удлинения.

28. Применение нестационарных аэродинамических методов

Применение нестационарных аэродинамических методов для нормирования нагрузок на агрегаты самолета при полете в неспокойном воздухе.

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

Учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектором).

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Аэроупругость [Текст], Aeroelasticity/Р. Л. Бисплингхофф, Х. Эшли, Р. Л. Халфмэн, -М., Изд-во иностр. лит., 1958
2. Крыло в нестационарном потоке газа [Текст]/С. М. Белоцерковский, Б. К. Скрипач, В. Г. Табачников, под ред. С. М. Белоцерковского, -М., Наука, 1971
3. Введение в аэроавтоупругость [Текст]/С. М. Белоцерковский [и др.], -М., Наука, 1980

Дополнительная литература

1. Теория крыла [Текст], Wing theory/Р. Т. Джонс, -М., Мир, 1995

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

Не используются

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

На семинарских занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

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

Студент, изучающий дисциплину "Численные методы в аэроупругости", 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 учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- подготовку к дифференцированному зачету и зачету.

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 прочности летательных аппаратов
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

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

Разработчик: М.М. Левченко

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Численные методы в аэроупругости» обучающийся должен:

знать:

- теоретические основы численных методов определения аэродинамических характеристик летательных аппаратов (основные уравнения, начальные и граничные условия);
- практические подходы к определению аэродинамических характеристик летательных аппаратов (последовательность проведения расчетов, схемы дискретизации несущей поверхности, границы применимости);
- связанные с учетом нестационарности особенности нагружения и нормирования нагрузок, действующих на отдельные агрегаты ЛА.

уметь:

- использовать численные методы определения стационарных и нестационарных аэродинамических характеристик летательных аппаратов;
- критически анализировать результаты расчетов.

владеть:

- навыками построения схем аэродинамической дискретизации несущей поверхности летательного аппарата;
- навыками получения аэродинамических характеристик новых летательных аппаратов на основе имеющихся результатов расчетов для летательных аппаратов со схожей конфигурацией.

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

1. Колебания несущих винтов. «Земной резонанс».
2. Динамическая прочность воздушного винта.
3. Расчет частот и форм собственных изгибных и крутильных колебаний лопасти.
4. Диаграмма Кэмпбелла.
5. Взаимодействие упругих колебаний корпуса и перемещения жидкого топлива в баках.
6. Колебания ракет.
7. Эксперимент на динамически подобных моделях в аэродинамических трубах.
8. Частотные испытания. Жесткостные испытания.
9. Методы измерения вибраций ЛА в полете.
10. Теория частотных испытаний.
11. Одноточечное и многоточечное возбуждение.
12. Схематизация конструкции ЛА.
13. Балочная схематизация ракет и самолетов с крыльями большого удлинения.
14. Уравнения колебаний свободного самолета.
15. Учет при исследовании упругих колебаний степеней свободы самолета как жесткого тела.
16. «Нулевые тона» собственных колебаний свободного самолета.
17. Акустические вибрации.

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

1. Виды и особенности упругих колебаний летательных аппаратов. Колебания упругого самолета с системой автоматического управления.
2. Изгибные упругие колебания балки постоянного поперечного сечения.
3. Изгибная жесткость. "Крутильная" жесткость (по Бредту). Центр изгиба. Ось жесткости. Уравнения изгибных и крутильных колебаний стержней.
4. Метод заданных форм. Методы Бубнова-Галеркина, Ритца в задачах об упругих колебаниях.
5. Уравнения собственных и вынужденных колебаний конструкций в матричной форме. Коэффициенты инерции и жесткости. Их свойства.
6. Формы и частоты собственных колебаний. Условия ортогональности форм колебаний.
7. Вынужденные колебания систем без трения. Резонанс.
8. Вынужденные колебания систем с линейным трением. Амплитудный и фазовый резонансы. Передаточные функции.
9. Понятие о методах исследования упругих колебаний летательных аппаратов (ЛА). Теоретические методы исследования аэроупругого взаимодействия ЛА с САУ с применением ЦВМ.
10. Метод сосредоточенных масс. Функция влияния. Уравнения Лагранжа для системы с n степенями свободы.
11. Собственные колебания систем с линейным трением. Физическая природа рассеяния энергии при колебаниях конструкций. Логарифмический декремент колебаний.
12. Флаттер. Флаттер прямого консольного заземленного крыла. Изгибно-крутильный флаттер крыла. Методы и средства предотвращения флаттера.
13. Бафтинг.
14. Шимми. Расчет колес ЛА на шимми.
15. Колебания при полете в неспокойном воздухе, взлете и посадке. "Маховая тряска".

Билет № 1.

Тема: Вывод приведенной в нормативной документации (Авиационные Правила, часть 25) формулы для определения перегрузки от действия дискретного порыва неспокойного воздуха с учетом нестационарности.

1. Прочитать прилагаемую статью (п. 4 из списка дополнительной литературы). Можно ограничиться ее переведенным на русский фрагментом, используя оригинал статьи для справки.
2. Значение используемой авторами статьи переходной функции от действия порыва в начальный момент времени отлично от 0. Это, очевидно, неправильно: порыв еще не начал воздействовать, а реакция на него уже есть. Влияет ли это на правильность результирующей формулы для определения перегрузки? Обосновать ответ.
3. Решая уравнение движения ЛА с заданными переходными функциями от мгновенного изменения угла атаки и воздействия порыва и заданной вертикальной составляющей скорости

безразмерной массы (аналогичную приведенной на рисунке 2). Сформулировать алгоритм вычислений.

Билет № 2.

Тема: Исследования влияния удлинения крыла и нестационарности обтекания на нормальную перегрузку в центре тяжести самолета, вызванную воздействием дискретного порыва неспокойного воздуха.

Указание. Использовать программно-реализованный при выполнении задания № 1 алгоритм определения нормальной перегрузки от действия дискретного порыва.

1. Влияние нестационарности обтекания. Численно решить уравнение движения ЛА, подставляя вместо нестационарных переходных функций их стационарные значения, постоянные по времени.

2. Влияние удлинения крыла. Численно решить уравнение движения ЛА, подставляя вместо нестационарных переходных функций для крыла бесконечного удлинения соответствующие функции для крыльев с удлинением 3 и 6 (использовать аналитические выражения из прилагаемой к заданию статье, п. 5 из списка дополнительной литературы).

Билет № 3.

Тема: Схематизация ЛА для расчета стационарных и нестационарных аэродинамических характеристик.

По заданной форме ЛА в плане графически представить его модель для расчета:

- а) стационарных аэродинамических характеристик;
- б) нестационарных аэродинамических характеристик.

Сформулировать принципы построения моделей. Пояснить ключевые различия между моделями. Указать местоположение дискретных вихрей и контрольных точек. Привести примеры основных элементов схематизации (панель, зона, полоса, трапеция, агрегат, элемент).

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.

Зачет 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.

Незачет 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.

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

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

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