

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

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
радиотехники и компьютерных
технологий**

А.В. Дворкович

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Теория и техника антенн и устройств СВЧ
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра радиолокации, управления и информатики
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

7 (осенний) - Дифференцированный зачет

8 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 60 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: М.Б. Митяшев, канд. техн. наук, старший научный сотрудник

Программа обсуждена на заседании кафедры радиолокации, управления и информатики 01.03.2020

Аннотация

Антенна (антенное устройство) осуществляет направленное излучение во внешнее пространство и/или приём приходящих извне электромагнитных волн (сигналов), несущих ту или иную информацию в соответствии с используемыми для конкретных задач формами амплитудной/частотной/фазовой модуляции. Антенные устройства, применяемые в гражданских и военных системах наземной, морской, воздушной и космической связи, в системах наблюдения за воздушным и космическим пространством и в радиолокаторах зенитных ракетных систем, являются одними из основных устройств, определяющих такие характеристики систем, как: размеры сектора и скорость обзора пространства, дальность действия, угловая точность и разрешающая способность, помехозащищённость, канальность.

В лекционном курсе рассматриваются соотношения для расчета и конструкция антенн различных типов, связь их параметров с основными характеристиками, влияние механических и аппаратурных погрешностей, алгоритмы управления антенными элементами фазированных (пассивных, активных, цифровых) антенных решёток, методы измерений характеристик антенн.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

изучение основ теории и техники современных антенн и устройств СВЧ, необходимых для их проектирования.

Задачи дисциплины

- приобретение теоретических знаний о назначении антенн применительно к системам радиолокации и радиосвязи и их основных характеристиках;
- освоение базовых знаний в области физического моделирования антенн;
- приобретение навыков анализа и синтеза современных антенн разных конструкций и оценки их характеристик;
- получение представления о способах и методах измерения характеристик современных антенн.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или)	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности

обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

основные понятия теории и техники антенн и устройств СВЧ;
порядки численных величин, основных характеристик антенн и устройств СВЧ;
типы современных антенн и устройств СВЧ и области их применения;
современные проблемы теории и техники антенн и устройств СВЧ.

уметь:

пользоваться своими знаниями для решения задач теории и техники антенн и устройств СВЧ;
производить численные оценки по порядку величины;
эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

основными методами моделирования антенн и устройств СВЧ и расчета их характеристик;
навыками самостоятельной работы и Интернете;
навыками грамотной обработки результатов численного эксперимента и сопоставления с теоретическими данными.

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	Развитие антенной техники	2			1
2	Характеристики и типы апертурных антенн	12			6
3	Вибраторные антенны	8			4
4	Антенные решётки – основные свойства	8			4
5	Плоские антенные решётки	6			6
6	Активные фазированные антенные решётки	10			10
7	Цифровые антенные решётки	10			10
8	Методы измерения характеристик антенн	4			4
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: 7 (Осенний)

1. Развитие антенной техники

Типы антенных систем РЛС. Пассивные и активные фазированные антенные решётки.

2. Характеристики и типы апертурных антенн

Основные определения характеристик ДН плоских раскрывов и формулы для их расчета.

Влияние фазовых искажений в раскрыве. Характеристики излучения открытого конца волновода.

Секториальные Е-плоскостной и Н-плоскостной рупора. Пирамидальный рупор. Оптимальные рупора. Однозеркальная параболическая антенна. Геометрия и характеристики. Оптимальное облучение. Двухзеркальные антенны (схемы Кассегрена и Грегори). Вырезки из параболоида. Геометрия линзовых антенн. Замедляющие и ускоряющие линзы. Зонированные линзы. Технологии изготовления линзовых антенн.

3. Вибраторные антенны

Симметричный вибратор. Теория и характеристики. Петлевой вибратор Пистолькорса. Типы симметрирующих устройств вибраторных антенн. Многовибраторные антенны. Принцип работы и конструкция.

4. Антенные решётки – основные свойства

Схемы антенн на базе АР. Характеристики линейных АР. Нормальное, осевое и наклонное излучение. Дифракционные лепестки. Влияние случайных разбросов комплексных коэффициентов передачи АФАР на характеристики ДН. Линейное и нелинейное дискретное фазирование. Строгий электродинамический расчет АР из плоских волноводов. Структура поля в раскрыве конечной АР. Диаграммы направленности элементов в составе конечной АР. Характеристики в режиме сканирования.

Семестр: 8 (Весенний)

5. Плоские антенные решётки

Плоские АР. Гексагональное расположение элементов. Диаграмма дифракционных лепестков. Взаимная связь между элементами АР по пространству. Отказы элементов АФАР. Допустимое число отказавших элементов. Активные фазированные антенные решётки

6. Активные фазированные антенные решётки

Принципы построения АФАР. Преимущества и проблемы. Состояние в области освоения АФАР и образцы РЛС с АФАР. Описание вариантов конструкции и характеристики основных узлов и элементов антенной системы с АФАР. КПД многокаскадных усилителей. Потребляемая мощность и тепловыделение модулей АФАР. Интегральные энергетические характеристики АФАР. Система жидкостного АФАР. Расчет. Мощность, энергопотребление и массо-габаритные характеристики.

7. Цифровые антенные решётки

Преимущества ЦАР по сравнению с АФАР. Схемы построения ЦАР. Аппаратурные погрешности ЦАР и их влияние на цифровую ДН. Оцифрование сигналов на промежуточной частоте. Требование к синхронизации АЦП. Влияние временных разбросов моментов оцифрования принимаемых сигналов в каналах ЦАР в зависимости от ширины полосы и формы сигналов на искажения ДН. Методы формирования цифровых квадратурных составляющих сигналов, принимаемых каналами ЦАР. Влияние конечной разрядности цифровых отсчетов сигналов и весовых коэффициентов на формируемую ДН. Структура процессора и алгоритмы формирования цифровой ДНА ЦАР. Упрощённые алгоритмы формирования цифровых ДН. Ступенчатые амплитудные распределения. Алгоритмы адаптивного формирования «нулей» в ДНА в направлении источников помех.

8. Методы измерения характеристик антенн

Метод дальней зоны. Поднятый полигон. Влияние подстилающей поверхности на измеряемую ДН и методы минимизации вносимых искажений. Фазовые измерения. Измерение коэффициента усиления. Облётный метод. Метод ближней зоны. Колиматорный метод.

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

Компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система).

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Антенны [Текст] : учебник для вузов / Г. Т. Марков, Д. М. Сазонов .— М. : Энергия, 1975 .— 528 с.
2. Коротковолновые антенны [Текст]/Г. З. Айзенберг [и др.] , -М., Радио и связь, 1985
3. Проектирование фазированных антенных решеток [Текст] : учеб. пособие для вузов / под ред. Д. И. Воскресенского .— 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Радиотехника, 2012 .— 744 с

Дополнительная литература

1. Антенны и устройства СВЧ [Текст] : учебник для вузов / Д. М. Сазонов .— М. : Высшая школа, 1988 .— 432 с.
2. Анализ и синтез антенных систем [Текст] : междувед. сб. / М-во высш. и средн. спец. образования РСФСР, Моск. физ.-техн. ин-т ; отв. ред. Г. Г. Бубнов .— М. : Изд-во МФТИ, 1984 .— 132 с.
3. Теория и анализ фазированных антенных решеток [Текст]/Н. Амтей, В. Галиндо, Ч. Ву , -М., Мир, 1974
4. Сканирующие антенные системы СВЧ [Текст]. В 3 т. Т. 3 / пер. с англ. под ред. Г. Т. Маркова, А. Ф. Чаплина .— М. : Советское радио, 1971 .— 463 с.

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

1. <http://lib.mipt.ru/> – электронная библиотека Физтеха
2. <http://ruslanlib.phystech.edu/> -Научно-техническая библиотека МФТИ

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

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций (Microsoft PowerPoint).

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

В ходе лекционных занятий студенту рекомендуется вести конспектирование учебного материала. Обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации. Задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций.

Своевременное и качественное выполнение самостоятельной работы способствует успешному освоению содержания дисциплины, которая включает в себя:

- проработку лекций с использованием конспекта и литературой, рекомендуемых данной программой;
- подготовку к контрольным, самостоятельным работам;
- подготовка к дифференцированному зачету и экзамену.

Также студент может дополнить список литературы современными источниками, не представленными в списке рекомендованной литературы, и в дальнейшем использовать учебные материалы при написании выпускной квалификационной работы.

Уровень проработки студентам прослушанных лекций контролируется преподавателем на лекционных занятиях. Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате анализа итогов контрольных, самостоятельных работ, а также индивидуальных консультаций.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра радиолокации, управления и информатики
курс:	<u>4</u>
квалификация:	бакалавр
Семестры, формы промежуточной аттестации:	
7 (осенний) - Дифференцированный зачет	
8 (весенний) - Экзамен	
Разработчик:	М.Б. Митяшев, канд. техн. наук, старший научный сотрудник

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Теория и техника антенн и устройств СВЧ» обучающийся должен:

знать:

основные понятия теории и техники антенн и устройств СВЧ;
порядки численных величин, основных характеристик антенн и устройств СВЧ;
типы современных антенн и устройств СВЧ и области их применения;
современные проблемы теории и техники антенн и устройств СВЧ.

уметь:

пользоваться своими знаниями для решения задач теории и техники антенн и устройств СВЧ;
производить численные оценки по порядку величины;
эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

основными методами моделирования антенн и устройств СВЧ и расчета их характеристик;
навыками самостоятельной работы и Интернете;
навыками грамотной обработки результатов численного эксперимента и сопоставления с теоретическими данными.

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

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

Семестр: 7 (осенний)

- 1 Основные определения характеристик ДН плоских раскрывов и формулы для их расчета
- 2 Влияние фазовых искажений в раскрыве.
- 3 Секториальные Е-плоскостной и Н-плоскостной рупора. Пирамидальный рупор. Оптимальные рупора.
- 4 Однозеркальная параболическая антенна. Геометрия и характеристики. Оптимальное облучение. Двухзеркальные антенны (схемы Кассегрена и Грегори).
- 5 Геометрия линзовых антенн. Замедляющие и ускоряющие линзы. Зонированные линзы. Технологии изготовления линзовых антенн.
- 6 Симметричный вибратор. Теория и характеристики. Типы симметрирующих устройств вибраторных антенн. Многовибраторные антенны.
- 7 Схемы антенных решёток. Характеристики линейных АР. Нормальное, осевое и наклонное излучение. Дифракционные лепестки.
- 8 Влияние случайных разбросов комплексных коэффициентов передачи АФАР на характеристики ДН.
- 9 Линейное и нелинейное дискретное фазирование.

Семестр: 8 (весенний)

- 10 Плоские АР. Гексагональное расположение элементов. Диаграмма дифракционных лепестков.
- 11 Взаимная связь между элементами АР по пространству.
- 12 Принципы построения АФАР. Преимущества и проблемы.
- 13 Типовые характеристики основных узлов и элементов антенной системы с АФАР.
- 14 КПД многокаскадных усилителей. Потребляемая мощность и тепловыделение модулей АФАР. Интегральные энергетические характеристики АФАР.
- 15 Преимущества ЦАР по сравнению с АФАР. Схемы построения ЦАР.
- 16 Аппаратурные погрешности ЦАР и их влияние на цифровую ДН.
- 17 Структура процессора и алгоритмы формирования цифровой ДН.
- 18 Алгоритмы адаптивного формирования «нулей» в ДНА в направлении источников помех.
- 19 Методы измерения характеристик антенн.

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

Перечень контрольных вопросов для сдачи дифференцированного зачета в 7-ом семестре:

1. Основные определения характеристик ДН плоских раскрывов и формулы для их расчета. Спадающие амплитудные распределения. Влияние фазовых искажений в раскрыве.
5. Характеристики излучения открытого конца волновода. Секториальные Е-плоскостной и Н-плоскостной рупора. Пирамидальный рупор. Оптимальные рупора.
6. Однозеркальная параболическая антенна. Геометрия и характеристики. Оптимальное облучение. Двухзеркальные антенны (схемы Кассегрена и Грегори).
7. Геометрия линзовых антенн. Замедляющие и ускоряющие линзы. Зонированные линзы.
8. Симметричный вибратор. Теория и характеристики. Петлевой вибратор Пистолькорса.
9. Многовибраторные антенны. Принцип работы и конструкция.
10. Схемы антенн на базе АР. Характеристики линейных АР.
11. Влияние случайных разбросов комплексных коэффициентов передачи АФАР на характеристики ДН. Линейное и нелинейное дискретное фазирование.

Перечень контрольных вопросов для сдачи экзамена в 8-ом семестре:

1. Основные определения характеристик ДН плоских раскрывов и формулы для их расчета. Спадающие амплитудные распределения. Влияние фазовых искажений в раскрыве.
5. Характеристики излучения открытого конца волновода. Секториальные Е-плоскостной и Н-плоскостной рупора. Пирамидальный рупор. Оптимальные рупора.

6. Однозеркальная параболическая антенна. Геометрия и характеристики. Оптимальное облучение. Двухзеркальные антенны (схемы Кассегрена и Грегори).
7. Геометрия линзовых антенн. Замедляющие и ускоряющие линзы. Зонированные линзы.
8. Симметричный вибратор. Теория и характеристики. Петлевой вибратор Пистолькорса.
9. Многовибраторные антенны. Принцип работы и конструкция.
10. Схемы антенн на базе АР. Характеристики линейных АР.
11. Влияние случайных разбросов комплексных коэффициентов передачи АФАР на характеристики ДН. Линейное и нелинейное дискретное фазирование.
12. Плоские АР. Гексагональное расположение элементов. Диаграмма дифракционных лепестков. Взаимная связь между элементами АР.
13. Влияние отказов элементов АР на диаграмму направленности.
14. Преимущества АФАР по сравнению с пассивными ФАР
15. Состав приемо-передающего элемента АФАР и многоканального приемо-передающего модуля
16. Типы и характеристики излучателей АФАР
17. Защитное устройство приемных каналов
18. Приемный канал элемента АФАР, блок схема, суммарный коэффициент шума.
19. Схемы построения ЦАР. Преимущества ЦАР. Проблемы создания ЦАР.
20. Влияние разброса моментов оцифровки сигналов в приемных каналах ЦАР на ДНА в зависимости от формы выходных сигналов. Эквивалентный уровень шума.
21. Методы формирования цифровых квадратурных составляющих сигналов, принимаемых каналами ЦАР - двухканальное аналоговое и одноканальное цифровое формирование квадратур.
22. Влияние разрядности АЦП каналов ЦАР и весовых коэффициентов при вычислении ДНА на ее характеристики.
23. Формирование ступенчатого амплитудного распределения в раскрыве ЦАР.
24. Структура процессора и алгоритмы формирования цифровой ДНА ЦАР.
25. Методы измерения характеристик антенн

Примеры билетов для проведения экзамена:

Билет 1.

1. Основные определения характеристик ДН плоских раскрывов и формулы для их расчета. Спадающие амплитудные распределения. Влияние фазовых искажений в раскрыве.
2. Методы измерения характеристик антенн

Билет 2.

1. Характеристики излучения открытого конца волновода. Секториальные Е-плоскостной и Н-плоскостной рупора. Пирамидальный рупор. Оптимальные рупора.
2. Структура процессора и алгоритмы формирования цифровой ДНА ЦАР.

Критерии оценивания

Оценка отлично (10) 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) 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) выставляется студенту, показавшему 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) 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) 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) 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) 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) 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) 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) 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

Экзамен и дифференцированный зачет проводится в устной форме.

При проведении зачета обучающемуся предоставляется 20 минут на подготовку. Опрос обучающегося проводится в течение 30 минут.

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

Во время проведения экзамена и зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины.