

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

Кафедра **И4 «Радиоэлектронные системы управления»**
(наименование)

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной
деятельности и цифровизации
БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

А.Е. Шашурин

2024 г.



ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ,
СООТВЕТСТВУЮЩЕЙ НАУЧНОЙ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

2.2.16 Радиолокация и радионавигация

Санкт-Петербург
2024 г.

1. Форма вступительного испытания

1.1 Вступительное испытание по специальной дисциплине проводится устно в соответствии с перечнем тем и вопросов, установленных данной программой.

1.2 Вступительное испытание проводится комиссией, действующей на основании приказа ректора.

1.3 Вступительное испытание проводится на русском языке.

1.4 Продолжительность проведения устного экзамена — не более 60 минут.

2. Структура вступительного испытания

2.1 Во время проведения вступительных испытаний их участникам и лицам, привлекаемым к их проведению, запрещается иметь при себе и использовать средства связи. Участники вступительных испытаний могут иметь при себе и использовать справочные материалы и электронно-вычислительную технику.

2.2 При нарушении поступающим во время проведения вступительных испытаний правил приема, уполномоченные должностные лица организации вправе удалить его с места проведения вступительного испытания с составлением акта об удалении.

2.3 Результаты проведения вступительного испытания оформляются протоколом, на каждого поступающего ведется отдельный протокол. Протокол приема вступительного испытания подписывается членами комиссии, которые присутствовали при проведении испытания, с указанием их ученой степени, ученого звания, занимаемой должности и утверждается председателем комиссии. Протоколы приема вступительных испытаний после утверждения хранятся в личном деле поступающего.

3. Порядок приема и критерии оценивания вступительного экзамена

3.1 Билет содержит три вопроса из перечня тем, установленных данной программой. Вопросы для билета выбираются на усмотрение членов комиссии. Вступительное испытание оценивается экзаменационной комиссией по 100-балльной шкале. В целях обеспечения объективности и единообразия в оценке знаний при приеме вступительных экзаменов в аспирантуру ФГБОУ ВО «БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова» предлагается использовать следующие критерии оценки знаний:

Баллы	Критерии выставления оценки	Детализация баллов	Критерии выставления оценки
90-100	Ставится при полных, исчерпывающих, аргументированных ответах на все экзаменационные вопросы, в том числе на все дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии. Ответы демонстрируют системность знаний в соответствующей сфере,	6-10	При раскрытии темы поступающий строит рассуждение на основе не менее одного примера по собственному выбору, определяя свой путь использования научного материала, показывает разный уровень его осмысления.

	<p>владение понятийно-категориальным аппаратом, понимание сущности и взаимосвязи рассматриваемых процессов и явлений, в том числе с предполагаемой тематикой научных исследований в аспирантуре, знание фундаментальных и прикладных аспектов рассматриваемых вопросов. Поступающий при ответе на вопросы проводит анализ причин, условий, может представить качественные характеристики процессов, не допускает ошибок при решении практической задачи. Ответы структурированы, отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, изложены литературным языком с использованием современной научной терминологии по направлению и профилю подготовки в аспирантуре.</p>	0-5	<p>Ответ отличается композиционной цельностью, его части логически связаны между собой, но есть нарушения последовательности и/или мысль повторяется и не развивается.</p>
80-89	<p>Ставится при достаточно полных и развернутых ответах на все экзаменационные вопросы и неполных ответах на дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии.</p>	0-5	<p>Поступающий строит рассуждение с опорой на научный материал, но ограничивается общими высказываниями.</p>
	<p>Ответы демонстрируют владение понятийно-категориальным аппаратом, понимание сущности и взаимосвязи рассматриваемых процессов и явлений, знание фундаментальных и прикладных аспектов рассматриваемых вопросов. Поступающий при ответе на вопросы дает определение некоторых основных понятий, может показать причинно-следственные</p>	6-9	<p>Поступающий рассуждает на предложенную тему, выбрав убедительный путь её раскрытия, коммуникативный замысел выражен ясно.</p>

	связи явлений, при решении практической задачи может допустить непринципиальные ошибки.		
60-79	Ставится при неполных и слабо аргументированных ответах, демонстрирующих общее представление и элементарное понимание предметной области. Ответы показывают слабое владение понятийно-категориальным аппаратом и научной терминологией по направлению радиолокация и радионавигация и профилю подготовки в аспирантуре и построены с нарушением логической последовательности изложения. Поступающий при ответе на вопросы не дает определение некоторых основных понятий, при решении практической задачи делает принципиальные ошибки.	0-5	Грубые логические нарушения мешают пониманию смысла сказанного или аргументация не убедительна.
		6-10	Допущены две и более фактических ошибок в материале.
		11-15	Допущена одна фактическая ошибка в материале.
		15-19	Фактические ошибки отсутствуют.
40-59	Ставится при фрагментарных знаниях, существенных пробелах в области радиолокации и радионавигации и непонимании сущности экзаменационных вопросов. Поступающий не может решить практическую задачу.	0-10	Неполный ответ на два из трех заданных теоретических вопросов.
		11-19	Отсутствует ответ на один из заданных теоретических вопросов.
20-39	Отсутствуют ответы на два заданных вопроса, фрагментарный ответ на третий вопрос.		
1-19	Ответ построен без привлечения научного материала.		
0	Нет ответа ни на один из трех заданных вопросов, либо отказ от ответа.		

4. Вопросы, выносимые на экзамен

Раздел 1. Сигналы и помехи в радиолокационных системах

- 1.1. Классификация сигналов и помех в радиолокационных системах. Применение детерминированных, квазидетерминированных и случайных процессов для построения моделей сигналов и помех. Простые, сложные, узкополосные, широкополосные и сверхширокополосные сигналы.
- 1.2. Разложение сигналов по системам базисных функций. Спектральный анализ периодических сигналов. Тригонометрический ряд Фурье. Формы представления ряда Фурье, спектры периодических сигналов. Спектральный анализ непериодических сигналов. Преобразование Фурье. Спектры непериодических сигналов. Свойства преобразования Фурье. Фурье – анализ неинтегрируемых сигналов.
- 1.3. Корреляционные характеристики детерминированных сигналов. Автокорреляционная функция непериодического сигнала, ее свойства. Автокорреляционная функция периодического сигнала, ее свойства. Взаимная корреляционная функция сигналов, ее свойства. Связь между корреляционными функциями и спектрами сигналов.
- 1.4. Модуляция и демодуляция сигналов. Классификация модулированных сигналов. Амплитудно-модулированные колебания (АМК): временное, частотное и векторное представление АМК. Спектр АМК. Энергетические характеристики АМК. Демодуляция АМК.
- 1.5. Колебания с угловой модуляцией. Полная фаза и мгновенная частота радиосигнала. Гармоническая угловая модуляция. Спектры радиосигналов при гармонической угловой модуляции. Энергетические характеристики колебаний с угловой модуляцией. Разновидности модулированных сигналов: квадратурная модуляция, ЛЧМ – сигнал, амплитудно-импульсная модуляция, широтно-импульсная модуляция, время – импульсная модуляция.
- 1.6. Линейные радиотехнические цепи с постоянными параметрами. Характеристики линейной цепи: импульсная, переходная и передаточная. Спектральный и временной методы анализа прохождения сигналов через линейные цепи. Условия неискаженной передачи сигнала линейной цепью. Связь между модулем и аргументом передаточной характеристики линейной цепи. Связь амплитудно–частотной характеристики с расположением нулей и полюсов функции передачи. Радиотехнические цепи с обратной связью. Классификация видов обратных связей.
- 1.7. Шумы и помехи как случайные процессы. Определение и классификация случайных процессов. Плотности распределения вероятностей, функции распределения случайных процессов, характеристические функции. Энергетические характеристики случайных процессов. Моментные и корреляционные функции. Спектральная плотность. Свойства корреляционных функций. Теорема Винера-Хинчина. Стационарность и эргодичность случайных процессов. Нормальный случайный процесс, белый шум. Прохождение белого шума через линейные цепи. Выбросы случайных процессов.
- 1.8. Автокорреляционные и взаимные корреляционные функции случайных процессов. Марковские процессы. Дискретные марковские случайные процессы. Энергетические характеристики случайного процесса на выходе линейной цепи. Преобразование плотности вероятности случайного процесса при прохождении его через линейные и нелинейные безынерционные элементы. Энергетические характеристики случайного процесса на выходе нелинейного безынерционного элемента

1.9. Узкополосный случайный процесс, огибающая и фаза узкополосного случайного процесса. Распределение огибающей и фазы суммы узкополосного случайного процесса и детерминированного сигнала. Статистические характеристики огибающей, фазы для суммы сигнала и узкополосного шума.

1.10. Основные понятия теории информации. Способы оценки количества информации, содержащейся в сообщении. Энтропия сообщений с дискретными и непрерывными состояниями элементов. Условная энтропия и энтропия объединения статистически зависимых сообщений.

Раздел 2. Статистическая теория радиосистем

2.1. Статистическое описание сигналов и помех, информационных и неинформационных параметров и процессов в радиотехнических системах. Подходы к решению задачи проверки статистических гипотез. Простые гипотезы. Подход на основе критерия Байеса. Подход на основе критерия Неймана-Пирсона. Отношение правдоподобия. Сложные гипотезы. Априорная неопределенность. Способы преодоления априорной неопределенности.

2.2. Обнаружение сигналов. Обнаружение сигналов как двухальтернативная проверка гипотез. Решающие правила оптимального обнаружения; критерий Байеса, критерий Неймана-Пирсона. Последовательное обнаружение, критерий Вальда. Показатели качества обнаружения. Обнаружение детерминированных и квазидетерминированных сигналов на фоне белого шума.

2.3. Корреляционная, фильтровая и корреляционно-фильтровая обработка сигналов. Обнаружение радиосигналов со случайной начальной фазой и амплитудой. Обнаружение пачки когерентных радиоимпульсов на фоне белого шума. Обнаружение нефлуктуирующих и флуктуирующих пачек некогерентных радиоимпульсов на фоне белого шума.

2.4. Обнаружение сигналов на фоне коррелированных помех; обесцарапывающие фильтры. Обнаружение пространственно-временных сигналов. Цифровое обнаружение сигналов; некогерентная и когерентная цифровая обработка.

2.5. Оценивание параметров сигналов Информативные и неинформативные параметры сигналов. Байесовские оценки и их свойства. Небайесовские оценки. Оценка максимального правдоподобия параметра сигнала и ее свойства. Неравенство Крамера-Рао. Потенциальная точность измерения параметра сигнала.

2.6. Оценивание энергетических и неэнергетических параметров сигнала при наличии белого шума. Виды оценивания: фильтрация, интерполяция и экстраполяция. Байесовские правила оценивания. Оценивание времени запаздывания и смещения частоты сигнала со случайной начальной фазой и амплитудой.

2.7. Оптимальная фильтрация сигналов. Линейная и нелинейная фильтрация. Непрерывный и дискретный фильтр Калмана, Многомерный фильтр Калмана.

2.8. Параметрическая и непараметрическая априорная неопределенность. Методы синтеза алгоритмов обработки при параметрической априорной неопределенности, Адаптивные алгоритмы. Адаптивные многоканальные (в том числе двухканальные) компенсаторы помех с корреляционной обратной связью. Автокомпенсаторы коррелированных помех.

2.9. Робастное оценивание параметров сигнала. Оценки типа максимального правдоподобия (М-оценки). Робастное обнаружение. Адаптивно-робастное обнаружение.

Робастное оценивание времени запаздывания, частоты и фазы различных моделей сигнала

2.10. Общие сведения о разрешении и распознавании сигналов (объектов).

Характеристики (признаки) объектов и сигналов, используемые для разрешения и распознавания. Взаимосвязь задач разрешения и распознавания. Показатели качества разрешения и распознавания и решающие правила. Связь разрешающей способности с функцией рассогласования. Меры разрешающей способности. Разрешающая способность по времени запаздывания и по частоте.

Раздел 3. Радиолокационные и радионавигационные системы

3.1. Классификация радиолокационных систем. Основные определения. Задачи, решаемые с помощью радиолокационных систем (РЛС). Краткая история развития радиолокации. Физические основы активного и пассивного обнаружения РЛ целей. Однопозиционные, бистатические (разнесенные) и многопозиционные радиолокационные системы. Диапазоны радиоволн, используемые в радиолокации. Методы определения координат и параметров движения объектов. Обзор пространства и поиск радиолокационных целей. Методы определения координат объектов. Позиционные методы. Метод счисления пути. Обзорно-сравнительный метод. Основные тактические характеристики РЛС и РНС. Основные технические характеристики РЛС и РНС.

3.2. Рассеивающие свойства объектов. Вторичное излучение электромагнитных волн. Эффективная площадь рассеяния объектов (ЭПР). Поляризационная матрица рассеяния и матрица ЭПР. Классификация радиолокационных объектов. ЭПР элементарных объектов. ЭПР сложных объектов. ЭПР поверхностно-распределенных объектов. ЭПР объемно-распределенных объектов. Экспериментальное определение ЭПР. Способы изменения радиолокационной заметности объектов. Малоаметные радиолокационные цели.

3.3. Дальность действия радиолокационных и радионавигационных систем. Дальность действия РЛС и РНС. Дальность действия в свободном пространстве: дальность действия радиолинии, пассивной системы, активной системы, бистатической системы, активной системы с активным ответом. Влияние атмосферы и земной поверхности на дальность действия. Дальность прямой видимости.

3.4. Борьба с помехами в радиолокационных и радионавигационных системах. Классификация помех. Пассивные помехи. Пассивные помехи от подстилающей поверхности. Пассивные помехи от метеообразований. Пассивные помехи искусственного происхождения. Активные помехи преднамеренные и непреднамеренные. Многолучевое распространение радиоволн. Комбинированные помехи. Обнаружение радиолокационных целей на фоне пассивных помех, селекция движущихся целей (СДЦ). Особенности борьбы с пассивными помехами в наземных РЛС. Фильтры череспериодной компенсации (ЧПК). ЧПК-1, ЧПК-2.

3.5. Особенности борьбы с пассивными помехами в бортовых РЛС. Фильтровая СДЦ. Режимы работы РЛС: низкая частота повторения (НЧП), высокая частота повторения (ВЧП), средняя частота повторения (СЧП). Их преимущества и недостатки. Слепые скорости. Слепые дальности. Методы борьбы со слепыми скоростями, слепыми дальностями. Методы защиты РЛС от активных помех. Адаптивные антенные решетки. Алгоритмы управления ДН адаптивных антенных решеток

3.6. Измерение дальности и радиальной скорости. Методы измерения дальности до радиолокационных целей; импульсный, фазовый и частотный методы. Основные

погрешности радиодальнометрии. Импульсный радиодальномер. Особенности использования импульсного метода измерения дальности в радионавигации. Следящие импульсные радиодальномеры; режимы поиска и слежения. Фазовый радиодальномер; точность и однозначность измерения. Частотный радиодальномер; точность и разрешающая способность; влияние движения цели. Радиодальномеры со сложными сигналами. Измерения радиальной скорости движения объекта.

3.7. Измерение угловых координат. Методы измерения угловых координат (радиопеленгации); пеленгационная характеристика. Амплитудные и фазовые методы измерения угловых координат. Следящие измерители угловых координат.

Моноимпульсные измерители угловых координат

3.8. РЛС обзора земной поверхности. Методы радиолокационного обзора местности (земной и водной поверхности); линейная разрешающая способность. РЛС бокового обзора с вдольфюзеляжной антенной (с некогерентной обработкой сигналов). Метод синтеза апертуры. РЛС с синтезированной апертурой (РСА). Первичная обработка сигналов в РСА. Фокусированная и нефокусированная РСА, режим доплеровского обужения луча (ДОЛ); разрешающая способность. Радиовидение.

3.9. Классификация радионавигационных систем. РНС глобальной, дальней и ближней навигации, посадки, сближения и стыковки летательных аппаратов и предупреждения столкновений движущихся объектов. Автономные радионавигационные системы. Обзорно-сравнительные радиосистемы навигации по рельефу поверхности, по физическим полям Земли и картам местности; принципы работы, основные технические характеристики и особенности построения

3.10. Спутниковые радионавигационные системы (СРНС). Обобщенная структурная схема СРНС. Сигналы СРНС. Методы определения координат по сигналам НКА. Задачи и структура аппаратуры потребителей СРНС. Первичная и вторичная обработка навигационной информации. Точность местоопределения на плоскости. Рабочие зоны РНС. Точность местоопределения в пространстве. Повышение точности СРНС методом дифференциальной коррекции.

5. Рекомендуемая литература

5.1. Основная литература:

1. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы : учебник для вузов/ С. И. Баскаков. - 4-е изд., перераб. и доп. -М.: Высшая школа, 2003.
2. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы : учебник для вузов/ И. С. 3. Гоноровский. - изд. 4-е, перераб. и доп. -М.: Радио и связь, 1986.
3. Ширман Я.Д., Манжос В.Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. – М.: Радио и связь, 1981
4. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов: учебное пособие для вузов/ А. Б. Сергиенко. - СПб: Питер, 2003
5. Казаринов Ю.М., Коломенский Ю.А., Кутузов В.М. и др. Радиотехнические системы / Под ред. Ю.М. Казаринова. – М.: Изд. центр «Академия», 2008.
6. Шахтарин Б. И. Обнаружение сигналов. Учебное пособие для вузов: Горячая линия-Телеком. 2015.

7. Тихонов В. И. Статистическая радиотехника. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Радио и связь, 1982.
8. Перов А.И. Статистическая теория радиотехнических систем. – М.: Радиотехника, 2003.
9. Тихонов В.И., Харисов В.Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. – М.: Радио и связь, 1991.
10. Флёрова А. А. Основы статистической радиотехники : учебное пособие [для вузов]/ А. А. Флёрова; БГТУ "ВОЕНМЕХ". -СПб., 2006.
11. Теоретические основы радиолокации. Под ред. В.Е. Дулевича. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Советское радио, 1978.
12. Бакулев П. А. Радиолокационные системы: учебник для вузов. М.: Радиотехника, 2007.
13. Бакулев П.А., Сосновский А.А. Радионавигационные системы. – М.: Радиотехника, 2005.
14. Системотехническое проектирование обзорных радиолокационных станций: учебное пособие [для вузов]/ В. В. Смирнов [и др.]; ред. В. В. Смирнов; БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб., 2010.
15. Кондратенков Г. С. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли: учебное пособие для вузов. М.: Радиотехника, 2005
16. Соловьёв Ю. А. Спутниковая навигация и её приложения/ Ю. А. Соловьёв. -М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 2003

5.2 Дополнительная литература:

1. Информационные технологии в радиотехнических системах / Под ред. И.Б. Федорова. - М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.
2. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации. – М.: Радио и связь, 1992.
3. Верб В. С. Авиационные комплексы радиолокационного дозора и наведения: состояние и тенденции развития / В. С. Верб. -М.: Радиотехника, 2008.
4. Яценков В. С. Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС : [справочник]/ В. С. Яценков. - М.: Горячая линия-Телеком, 2005.
5. Смит Стивен. Цифровая обработка сигналов: практическое руководство для инженеров и научных работников. - М.: Додэка-XX1, 2011. - 718 с.

5.3 Электронные (образовательные, информационные, справочные, нормативные и т.п.) ресурсы:

Электронные ресурсы:

1. <https://urait.ru> — Главная – Образовательная платформа Юрайт. Для вузов и сузов.;
2. <http://e.lanbook.com> — ЭБС Лань;
3. <http://library.voenmeh.ru/jirbis2> — Библиотечно-издательский центр БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова.