

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной
деятельности

 А.Б. Петроченков

« 20 » марта 20 23 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: Интегрированные навигационные системы
(наименование)

Форма обучения: очная
(очная/очно-заочная/заочная)

Уровень высшего образования: магистратура
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

Общая трудоёмкость: 216 (6)
(часы (ЗЕ))

Направление подготовки: 24.04.02 Системы управления движением и навигация
(код и наименование направления)

Направленность: Системы инерциальной навигации и управления подвижных объектов
(наименование образовательной программы)

1. Общие положения

1.1. Цели и задачи дисциплины

Целью учебной дисциплины является освоение знаний, умений и навыков в использовании интегрированных навигационных систем, применяя современные средства вычислительной техники.

Задачи дисциплины:

- развитие логического мышления при решении проектных задач;
- освоение передового отечественного и зарубежного опыта в области теоретических основ работы навигационных систем;
- освоение современных методов фильтрации и управления;
- умение учитывать современные тенденции развития и использовать достижения отечественной и зарубежной науки, техники и технологии в профессиональной деятельности.

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Интегрированные навигационные системы;
Спутниковые навигационные системы;
Фильтр Калмана;
Оптимальное сглаживание.

1.3. Входные требования

Не предусмотрены

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-2.1	ИД-1ПК-2.1	Студент знает: - современные методы моделирования применяемые при производстве и испытании приборов ориентации, навигации и стабилизации; - виды коррекции системы и схемы корректирующих устройств; - методы оптимального управления; - методы фильтрации, идентификации параметров динамических систем	Знает современные технологии разработки и производства и испытания приборов ориентации, навигации и стабилизации	Курсовой проект

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-2.1	ИД-2ПК-2.1	Студент умеет: - умеет применять пакеты прикладных программ для проведения и обработки данных вычислительных и полунатурных исследований образцов приборов ориентации, навигации и стабилизации или их составных частей; - определять временные и частотные характеристики систем; - осуществлять синтез системы и оптимизацию ее параметров на персональном компьютере с применением программных продуктов	Умеет применять современные технологии разработки конструкции, технологии изготовления и испытания образцов приборов ориентации, навигации и стабилизации или их составных частей	Экзамен
ПК-2.1	ИД-3ПК-2.1	Студент владеет: - опытом разработки моделей математических, компьютерных, аналоговых моделей образцов приборов ориентации, навигации и стабилизации или их составных частей; - способен участвовать в монтаже, наладке, испытаниях и сдаче в эксплуатацию опытных образцов техники; - способен рассчитывать и проектировать элементы и устройства, основанные на различных физических принципах действия	Владеет опытом разработки конструкции, технологии изготовления и испытания образцов приборов ориентации, навигации и стабилизации или их составных частей	Экзамен
ПК-2.3	ИД-1ПК-2.3	Студент знает: - методы моделирования механических, оптоэлектронных и микромеханических узлов навигационных систем; - принцип действия интегрированных систем; - принципы построения	Знает принципы построения комплексных навигационных систем	Курсовая работа

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		комплексных систем навигации; - методы анализа инерциальных систем.		
ПК-2.3	ИД-2ПК-2.3	Студент умеет: - применять современное оборудование для моделирования навигационных систем и их составных частей; - проводить анализ динамики интегрированных систем; - определять погрешности интегрированных систем; - составлять математические модели исследуемых систем; - оценивать точность системы в переходном и установившемся режимах; - проводить оценку устойчивости системы; - определять временные и частотные характеристики систем	Умеет применять аппарат теории оценивания в синтезе алгоритмов комплексных навигационных систем	Экзамен
ПК-2.3	ИД-3ПК-2.3	Студент владеет: - навыками планирования вычислительных и натурных экспериментов; - способен участвовать в разработке функциональных и структурных схем приборов; - способен работать с информацией в глобальных компьютерных сетях; - способность проводить исследования, обрабатывать и представлять экспериментальные данные; - способен к анализу технического задания и задач проектирования приборов на основе изучения технической	Владеет навыками разработки ПМО комплексных навигационных систем	Экзамен

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		литературы и патентных источников;		

3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		3	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	63	63	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	16	16	
- лабораторные работы (ЛР)			
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	45	45	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	2	2	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	117	117	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36	36	
Дифференцированный зачет			
Зачет			
Курсовой проект (КП)	36	36	
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	216	216	

4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
2-й семестр				
Структура ИНС	8	0	21	56
Тема 1. Структура интегрированной навигационная система. Тема 2. Модели погрешностей навигационных измерителей интегрированной навигационной системы. Тема 3. Спутниковые навигационные системы. Режимы работы. Модели погрешностей. Тема 4. Уравнения ошибок бесплатформенной инерциальной навигационной системы.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Погрешности и фильтр Калмана	8	0	24	61
Тема 5. Фильтр Калмана в задачах оптимальной обработки информации. Тема 6. Применение фильтра Р. Калмана для оценки погрешностей бесплатформенной инерциальной системы по внешним навигационным измерениям. Тема 7. Наблюдаемость инструментальных погрешностей инерциальных датчиков по скоростным измерениям. Тема 8. Постобработка навигационной информации. Решение задачи оптимального сглаживания с помощью фильтра Р. Калмана.				
ИТОГО по 2-му семестру	16	0	45	117
ИТОГО по дисциплине	16	0	45	117

Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Бесплатформенная инерциальная система – основа интегрированной навигационной системы
2	Схемы комплексирования навигационных систем
3	Применение метода вариаций Д. Аллана для определения параметров составляющих случайных погрешностей инерциальных датчиков
4	Использование псевдодальностей и псевдо радиальных скоростей для формирования навигационного решения
5	Дискретизация линейных динамических систем
6	Формирующий фильтр. Генерирование марковских случайных процессов
7	Оценка значений марковского процесса в результате решения задачи оптимальной фильтрации
8	Оценка значений марковского процесса в результате решения задачи оптимального сглаживания

Тематика примерных курсовых проектов/работ

№ п.п.	Наименование темы курсовых проектов/работ
1	Разработка алгоритмов работы и анализ точности интегрированной навигационной системы построенной на базе БИНС и высотомера
2	Разработка алгоритмов работы и анализ точности интегрированной навигационной системы построенной на базе БИНС и магнитного компаса
3	Разработка алгоритмов работы и анализ точности интегрированной навигационной системы построенной на базе БИНС и одометра

№ п.п.	Наименование темы курсовых проектов/работ
4	Разработка алгоритмов работы и анализ точности интегрированной навигационной системы построенной на базе БИНС и лага
5	Разработка алгоритмов работы и анализ точности интегрированной навигационной системы построенной на базе БИНС и СНС, построенного по слабосвязанной схеме комплексирования
6	Разработка алгоритмов работы и анализ точности интегрированной навигационной системы построенной на базе БИНС и СНС, построенного по сильносвязанной схеме комплексирования
7	Анализ точности интегрированной навигационной системы по результатам статистической обработки результатов испытаний
8	Контроль характеристик погрешностей инерциальных датчиков по результатам приёмо-сдаточных испытаний БИНС
9	Исследование влияние случайной погрешности типа «случайное блуждание ускорения» на точность начального гирокомпасирования БИНС
10	Исследование влияние случайной погрешности типа «случайное блуждание угловой скорости» на точность начального гирокомпасирования БИНС

5. Организационно-педагогические условия

5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установление связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
1. Основная литература		
1	Араманович И. Г., Левин В. И. Уравнения математической физики : учебное пособие для вузов. Стер. Москва : Альянс, 2021. 287 с. 15,12 усл. печ. л.	11
2	Ачильдиев В. М., Грузевич Ю. К., Солдатенков В. А. Информационные измерительные и оптико-электронные системы на основе микро- и наномеханических датчиков угловой скорости и линейного ускорения. Москва : Изд-во МГТУ, 2016. 260 с. 16,5 усл. печ. л.	2
3	Интегрированные системы управления объектами. Встроенные информационные системы : учебное пособие / Григорьев А. А., Исаев Е. А., Моргунов А. Ф., Тарасов П. А. Москва : ИНФРА-М, 2022. 221 с. 13,88 усл. печ. л.	3
4	Ориентация и навигация подвижных объектов : современные информационные технологии / Алешин Б. С., Афонин А. А., Веремеенко К. К., Кошелев Б. В., Плеханов В. Е., Тихонов В. А., Тювин А. В., Федосеев Е. П., Черноморский А. И. М. : Физматлит, 2006. 422 с.	2
2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		
1	Басов К. А. ANSYS : справочник пользователя. Москва : ДМК Пресс, 2018. 639 с. 52 усл. печ. л.	5
2	Дифференциальное и интегральное исчисления. Т. 1. Изд. стер. Москва : Альянс, 2022. 416 с. 26,0 усл. печ. л.	15
3	Локтионов И. К., Мироненко Л. П., Турупалов В. В. Численные методы : учебник. Москва Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. 378 с.	1
2.2. Периодические издания		
	Не используется	
2.3. Нормативно-технические издания		
	Не используется	
3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины		
	Не используется	
4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента		
	Не используется	

6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	Матвеев В.В., Распопов В.Я. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем – Спб.:ГНЦ ОАО» Концерн ЦНИИ Электроприбор»,2009. – 280 с.	https://djvu.online/file/GKY47XTgcFXqP	сеть Интернет; свободный доступ
Дополнительная литература	Якушенков, Андрей Андреевич. Основы инерциальной навигации [Текст] / Канд. техн. наук А. А. Якушенков. - Москва : Мор. транспорт, 1963. - 146 с. : черт.; 22 см.	https://ru.ug1lib.org/book/3253905/5939d2	сеть Интернет; свободный доступ

6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	MS Windows 8.1 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Dr.Web Enterprise Security Suite, 3000 лиц, ПНИПУ ОЦНИТ 2017
Прикладное программное обеспечение общего назначения	MATLAB 7.9 + Simulink 7.4 Academic, ПНИПУ 2009 г.

6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	http://lib.pstu.ru/
Электронно-библиотечная система Лань	https://e.lanbook.com/
Электронно-библиотечная система IPRbooks	http://www.iprbookshop.ru/
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	http://www.consultant.ru/

7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Курсовой проект	IBM PC Совместимые компьютеры	15
Лекция	Место преподавателя	1
Практическое занятие	IBM PC Совместимые компьютеры	15
Практическое занятие	Места для студентов	30

8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Пермский национальный исследовательский политехнический
университет»

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

«Интегрированные навигационные системы»

основной образовательной программы высшего образования – программы
академической магистратуры

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Приложение к рабочей программе дисциплины

Направление подготовки: 24.04.02 «Системы управления движением
и навигация»

**Направленность (профиль)
образовательной программы:** «Системы инерциальной навигации и
управление подвижных объектов»

Квалификация выпускника: «Магистр»

Выпускающая кафедра: Прикладная математика

Форма обучения: Очная

Курс: 2 **Семестр:** 3

Трудоёмкость:

Кредитов по рабочему учебному плану: 6 ЗЕ
Часов по рабочему учебному плану: 216 ч.

Виды промежуточного контроля:

Экзамен: 3 семестр Курсовой проект: 3 семестр

Пермь 2023

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля

В рамках освоения учебного материала дисциплины формируется компоненты компетенций знать, уметь, владеть, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине. Контроль уровня усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, практических занятий и экзамена (зачетного занятия).

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде экзамена (зачетного занятия), проводимого с учётом результатов текущего и рубежного контроля.

2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения

Текущий контроль успеваемости имеет целью обеспечение максимальной эффективности учебного процесса, управление процессом формирования заданных компетенций обучаемых, повышение мотивации к учебе и предусматривает оценивание хода освоения дисциплины. В соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ предусмотрены следующие виды и периодичность текущего контроля успеваемости обучающихся:

- входной контроль, проверка исходного уровня подготовленности обучаемого и его соответствия предъявляемым требованиям для изучения данной дисциплины;

- текущий контроль усвоения материала (уровня освоения компонента «знать» заданных компетенций) на каждом групповом занятии и контроль посещаемости лекционных занятий;

- промежуточный и рубежный контроль освоения обучаемыми отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или бланочного тестирования, контрольных опросов, контрольных работ (индивидуальных домашних заданий), защиты отчетов по лабораторным

работам, рефератов, эссе и т.д. Рубежный контроль по дисциплине проводится на следующей неделе после прохождения модуля дисциплины, а промежуточный – во время каждого контрольного мероприятия внутри модулей дисциплины;

- межсессионная аттестация, единовременное подведение итогов текущей успеваемости не менее одного раза в семестр по всем дисциплинам для каждого направления подготовки (специальности), курса, группы;

- контроль остаточных знаний.

2.1. Текущий контроль

Текущий контроль усвоения материала в форме собеседования или выборочного теоретического опроса студентов проводится по каждой теме. Результаты по 5-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

2.2. Рубежный контроль

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений проводится в форме рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

2.3. Выполнение комплексного индивидуального задания на самостоятельную работу.

Для оценивания навыков и опыта деятельности (владения), как результата обучения по дисциплине, не имеющей курсового проекта или работы, используется индивидуальное комплексное задание студенту.

2.4. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех индивидуальных работ и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

2.4.1. Процедура промежуточной аттестации с проведением дополнительного аттестационного испытания

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена, основывается на результатах выполнения предыдущих индивидуальных заданий студента по данной дисциплине. Аттестационный контроль содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки освоенных умений и комплексные задания (КЗ) для контроля уровня приобретенных владений всех заявленных компетенций. Задание формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задачи, контролируемые уровнем сформированности всех заявленных компетенций.

2.4.1.1. Типовые вопросы и задания для экзамена по дисциплине

Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:

1. Схема интегрированной навигационной системы
2. Схемы комплексирования инерциальной навигационной системы и спутниковой навигационной системы
3. Векторно-матричная форма записи модели линейной динамической системы

4. Оптимальный фильтр Калмана. Критерий оптимальности. Составные элементы фильтра.
5. Дискретные линейные динамические системы. Рекуррентно-разностная форма записи дискретных систем
6. Принцип эквивалентности дискретных и непрерывных детерминированных линейных систем
7. Принцип эквивалентности дискретных и непрерывных стохастических линейных систем
8. Получение переходной матрицы стационарной и нестационарной линейной динамической системы
9. Случайные процессы. Корреляционная функция и спектральная плотность стационарных случайных процессов
10. Белый шум. Соотношение параметров дискретного и непрерывного белого шума
11. Марковские случайные процессы. Марковский процесс 1-го порядка
12. Дисперсии Аллана. Составляющие случайных погрешностей инерциальных датчиков
13. Наблюдаемость линейных динамических систем
14. Фильтр Калмана для северного или восточного канала инерциальной навигационной системы
15. Спутниковые навигационные системы. Состав погрешностей спутниковых навигационных систем

Типовые практические задания для контроля освоенных умений и приобретенных владений:

1. Определить наблюдаемость системы

$$\Phi(\Delta t) = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H = [1 \quad 0].$$

2. Определить наблюдаемость системы

$$\Phi(\Delta t) = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H = [0 \quad 1].$$

3. При каких значениях c_1 , c_2 , h_1 , h_2 следующая система является управляемой и наблюдаемой

$$\begin{bmatrix} x_1'(t) \\ x_2'(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} u(t)$$

$$z(t) = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix}.$$

4. Найти переходную матрицу, соответствующую матрице состояния

$$F(t) = \begin{bmatrix} t & 0 \\ 0 & t \end{bmatrix}.$$

5. Найти переходную матрицу, соответствующую матрице состояния

$$F(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

6. Показать, матричная экспонента является ортогональной матрицей.

2.4.1.2. Шкалы оценивания результатов обучения на экзамене (дифференцированном зачете)

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов знать, уметь, владеть заявленных компетенций проводится по 5-балльной шкале оценивания.