

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования_
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Теория выбора и принятия решений

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Направление подготовки / специальность

01.03.02 - Прикладная математика и информатика

Направленность образовательной программы

Прикладная математика и информатика (общий профиль)

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.06.04 Теория выбора и принятия решений относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-6: Способен изучать и применять программное обеспечение, проводить расчётные работы и выполнять обработку результатов исследований	<p>ПК-6.1: Знает методы сбора, обработки и интерпретации данных современных научных исследований, необходимых для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям</p> <p>ПК-6.2: Умеет собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям</p> <p>ПК-6.3: Имеет практический опыт сбора и обработки данных современных научных исследований, необходимых для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям</p>	<p>ПК-6.1:</p> <p>Знать:</p> <p>-современные методы численного решения и моделирования задач оптимальной фильтрации и оптимального управления для линейных стохастических систем с дискретным временем:</p> <p>- современные программные средства решения задач оптимальной фильтрации и оптимального управления:</p> <p>основы теории оптимальной фильтрации и оптимального управления для линейных стохастических систем с дискретным временем.</p> <p>ПК-6.2:</p> <p>Уметь:</p> <p>- ставить на практике задачи оптимальной фильтрации и оптимального управления в рамках линейных стохастических моделей с дискретным временем:</p> <p>-решать задачи оптимальной фильтрации и оптимального управления в рамках линейных стохастических моделей с дискретным временем.</p> <p>ПК-6.3:</p> <p>Владеть:</p>	<p>Задачи</p> <p>Практическое задание</p> <p>Собеседование</p>	<p>Зачёт:</p> <p>Задачи</p>

		<p>навыками применения современных программных средств для решения задач оптимальной фильтрации и оптимального управления в рамках линейных стохастических моделей с дискретным временем</p> <p>-современными методами численного решения и моделирования задач оптимальной фильтрации и оптимального управления для линейных стохастических систем с дискретным временем с использованием существующего программного обеспечения</p>		
--	--	---	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	2
Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	1
самостоятельная работа	39
Промежуточная аттестация	0 Зачёт

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	о	о	о	о	о

	Ф 0	Ф 0	Ф 0	Ф 0	Ф 0
Тема 1. Наблюдение вектора состояния	25	6	6	12	13
Тема 2. Линейная оптимальная фильтрация	25	6	6	12	13
Тема 3. Стохастическое оптимальное управление	21	4	4	8	13
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	16	16	33	39

Содержание разделов и тем дисциплины

Тема 1. Постановка задачи наблюдения. Понятие наблюдаемости. Матрицы наблюдаемости первого и второго рода. Наблюдатели полного и пониженного порядка в виде моделей с обратной связью. Метод наименьших квадратов. Алгоритм рекуррентного гауссовского оценивания. Понятие управляемости. Двойственность задач наблюдения и управления

Тема 2. Метод минимизации среднеквадратической ошибки. Уравнение Винера-Хопфа для дискретных систем. Гауссовско-марковская оценка как обобщение метода наименьших квадратов. Рекуррентное гауссовско-марковское оценивание. Фильтр Калмана для систем с дискретным временем.

Тема 3. Постановка задачи стохастического оптимального управления для полной и неполной информации о векторе состояния. Вывод и решение функционального уравнения Беллмана. Свойства оптимальной системы. Теорема разделения.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

а) основная литература:

1. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т. 2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы - 2-е изд., испр. и доп. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. - 440 с. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922108584.html>

б) дополнительная литература:

1. Ким Д.П. Сборник задач по теории автоматического управления. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 328 с. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922109376.html>
2. Гайдук А.Р. Теория и методы аналитического синтеза систем автоматического управления (полиномиальный подход). - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922114240.html>

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-6:

Практическая работа 1 (образец постановки практической работы).

Цель работы: исследовать, какой наблюдатель обеспечивает более высокую скорость сходимости ошибки оценивания.

Постановка задачи: Рассматривается простейшая система второго порядка:

Обозначим x_1 – скорость, x_2 – координату и запишем уравнения системы в нормальной форме для задач наблюдения:

Предполагая, что координата и ускорение доступны наблюдению, найдем оценку скорости .
Уравнение выходной переменной будет иметь вид

.

Необходимо построить в SIMULINK модели наблюдателей полного и пониженного порядка и исследовать, как изменяется ошибка в зависимости от корней характеристического полинома наблюдателей.

Далее необходимо построить общую систему с обратной связью в SIMULINK и исследовать, как влияют ошибки в нахождении параметров наблюдателей на ошибку оценивания.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Выполнены все или большая часть этапов решения задачи или задача решена с незначительными недочетами. Результаты работы представлены преподавателю в срок.
не зачтено	Выполнены не все практические задания или выполнены не в полном объеме (представлено не полное описание этапов выполнения заданий, получен неверный ответ, результаты работы не представлены преподавателю).

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ПК-6:

Цель работы: построить оптимальную оценку координаты и скорости поступательного движения самолета.

Постановка задачи. Самолет совершает поступательное движение на заданной точно известной начальной позиции, под действием неизвестных возмущений ускорения. Во время полета каждую секунду измеряется координата с ошибкой. Требуется:

1. Построить оптимальную оценку координаты и скорости.

2. Рассчитать коэффициенты усиления. Сделать проверку.
3. Результаты применения алгоритма фильтрации представить в виде таблицы значений номера шага, матрицы ковариации ошибки измерений, матрицы усиления.
4. Рассчитать дисперсию стационарных (установившихся) значений ошибки координаты и скорости.
5. Построить последовательность коэффициентов усиления в виде графиков зависимости каждого коэффициента от номера шага.
6. Рассчитать дисперсию ошибки фильтрации для стационарных (установившихся) значений коэффициентов усиления.
7. Построить схему фильтра, соединить её со схемой наблюдаемой системы и исследовать, как изменяется ошибка в зависимости от коэффициентов усиления.

Критерии оценивания (оценочное средство - Практическое задание)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Выполнена основная часть задания, возможно с незначительными недочетами
не зачтено	Выполнено менее половины задания, есть существенные недочеты

5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-6:

1. Как ставится задача наблюдения состояния динамической системы?
2. Что такое матрицы наблюдаемости первого и второго рода?
3. Какую задачу в теории оценивания решает метод наименьших квадратов?
4. Что такое управляемость динамической системы?
5. В чем заключается двойственность задач наблюдения и управления?
6. Какова роль метода минимизации среднеквадратической ошибки в задаче оценивания состояния?
7. Какую роль играет уравнение Винера-Хопфа для дискретных систем?
8. Какую задачу решает алгоритм рекуррентного гауссовско-марковского оценивания?
9. Какую функцию выполняет фильтр Калмана для систем с дискретным временем? Какова его структура?
10. Каковы свойства оптимальной системы?

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Студент дал развернутый ответ на все вопросы без существенных ошибок.
не зачтено	При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале.

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы

		знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-6

Задача 1. Записать дискретное уравнение Винера-Хопфа для следующей системы

$$\begin{aligned}x(k+1) &= x(k), \quad k = 1, 2, 3, \dots \\y(k) &= x(k) + w(k)\end{aligned}$$

Задача 2. Рассмотрим систему

$$x(t+1) = x(t) + u(t) + v(t),$$

где x и u – скаляры, а $\{v(t)\}$ – последовательность независимых нормально распределенных переменных с нулевыми средними значениями и ковариационной матрицей r . При начальном нормальном состоянии с параметрами (m, σ) и с функцией потерь

$$l = \sum_{k=1}^N x^2(k) + u^2(k).$$

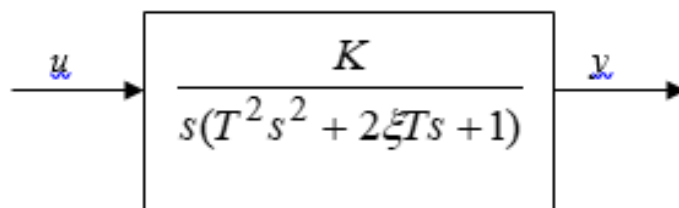
Определить стратегию управления, которая минимизирует средние потери, и найти минимальное значение функции потерь, когда допустимые стратегии управления такие, что $u(t) \in U$ и $x(t) \in X$. Найти также ограничения на закон управления при $N \rightarrow \infty$.

Задача 3. Изменение движения самолета выполняется в дискретные моменты времени, расположенные через одну секунду. Исходя из непрерывной модели объекта

$$\dot{x} = \bar{A}x(t) + bu(t)$$

нужно составить дискретную во времени схему наблюдения.

Задача 4. Оценить состояние системы (колебательное звено):



Построить наблюдатель полного порядка. Характеристический полином $\Delta(s)$ задать в виде стандартной формы Баттерворта.

Задача 5. Построить рекуррентную гауссовскую оценку по методу наименьших квадратов для системы

$$\begin{bmatrix} x_1(k+1) \\ x_2(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0.5 \end{bmatrix} u(k),$$

$$y(k) = [0 \quad 1]x(k).$$

Задача 6. Построить рекуррентную гауссовскую оценку по методу наименьших квадратов для системы

$$\begin{bmatrix} x_1(k+1) \\ x_2(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0.5 \end{bmatrix} u(k),$$

$$y(k) = [0 \quad 1]x(k).$$

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Студент ответил на большую часть вопросов возможно с незначительными недочетами.
не зачтено	При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале и решении стандартных задач.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Ким Дмитрий Петрович. Теория автоматического управления : учеб. для студентов вузов, обучающихся по направлению 220200 "Автоматизация и управление". - Изд. 2-е, испр. и доп. - М. : Физматлит, 2007-. Теория автоматического управления . Т. 2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. - М., 2007. - 2-е изд., испр. и доп. - 440 с., 5 табл., 65 ил. -

Библиогр.: с. 432 - 436. - ISBN 978-5-9221-0858-4 : 471.40., 2 экз.

Дополнительная литература:

1. Ким Дмитрий Петрович. Сборник задач по теории автоматического управления. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению 220400 "Мехатроника и робототехника". - М. : Физматлит, 2008. - 326 с. - ISBN 978-5-9221-0937-6 : 174.30., 2 экз.
2. Гайдук Анатолий Романович. Алгебраические методы анализа и синтеза систем автоматического управления / отв. ред. А. А. Колесников ; Сев.-Кавк. науч. центр высш. шк. - Ростов н/Д : Изд-во Рост. ун-та, 1988. - 208 с. : ил. - (Актуальные проблемы науки). - 2.48., 1 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

1. YALMIP Wiki <http://users.isy.liu.se/johanl/yalmip/>
2. Scilab <http://www.scilab.org/>
3. SeDuMi – <https://yalmip.github.io/allsolvers/>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: - операционные системы семейства Microsoft Windows; - свободно распространяемое бесплатное программное обеспечение (пакет Scilab <http://www.scilab.org>, пакет YALMIP – <http://users.isy.liu.se/johanl/yalmip/>, решатель SeDuMi – <https://yalmip.github.io/allsolvers/>).

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки 01.03.02 - Прикладная математика и информатика.

Автор(ы): Пакшин Павел Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор.

Заведующий кафедрой: Зорин Андрей Владимирович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 13.12.2023, протокол № 3.