0,+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
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО
президиумом Ученого совета ННГУ
протокол от
«14» декабря 2021 г. № 4

Рабочая программа дисциплины

Теория выбора и принятия решений
(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования
бакалавриат
(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность
01.03.02 Прикладная математика и информатика
(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы
Прикладная математика и информатика (общий профиль)
(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

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

Нижний Новгород

2021 г.

1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений
Код дисциплины **Б1.В.ДВ.06.04** “Теория выбора и принятия решений”.

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
1	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина **Б1.В.ДВ.06.04** “Теория выбора и принятия решений”.относится к части ООП направления подготовки *01.03.02 «Прикладная математика и информатика»*, формируемой участниками образовательных отношений.

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****	
ПК-3. *Способен собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям*	***ПК-3.1.*** *Знает методы сбора, обработки и интерпретации данных современных научных исследований, необходимых для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям*	***Знать:*** *-современные методы численного решения и моделирования задач оптимальной фильтрации и оптимального управления для линейных стохастических систем с дискретным временем:* *- современные программные средства решения задач оптимальной фильтрации и оптимального управления:* *основы теории оптимальной фильтрации и оптимального управления для линейных стохастических систем с дискретным временем.*	*собеседование*
	ПК-3.2. *Умеет собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям*	***Уметь:*** *- ставить на практике задачи оптимальной фильтрации и оптимального управления в рамках линейных стохастических моделей с дискретным временем:* *-решать задачи оптимальной фильтрации и оптимального управления в рамках линейных стохастических моделей с дискретным временем.*	*Задача (практическое задание)*
	ПК-3.3 *Имеет практический опыт сбора и обработ-*	***Владеть:*** *навыками применения современных программных средств для решения*	*Практическое задание (практическая*

	ки данных современных научных исследований, необходимых для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям	*задач оптимальной фильтрации и оптимального управления в рамках линейных стохастических моделей с дискретным временем* *-современными методами численного решения и моделирования задач оптимальной фильтрации и оптимального управления для линейных стохастических систем с дискретным временем с использованием существующего программного обеспечения*	*работа)*

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

	Очная форма обучения
Общая трудоемкость	**2 ЗЕТ**
Часов по учебному плану	**72**
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа): **- занятия лекционного типа** **- занятия семинарского типа** **- занятия лабораторного типа** **- текущий контроль (КСР)**	**33** **16** **16** **-** **1**
самостоятельная работа	**39**
Промежуточная аттестация – зачет	**зачет**

3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание 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**	**Занятия лабораторного типа**	**Всего**	
Наблюдение вектора состояния 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	25	6	6		12	13
Линейная оптимальная фильтрация 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	25	6	6		12	13

с дискретным временем.						
Стохастическое оптимальное управление Постановка задачи стохастического оптимального управления для полной и неполной информации о векторе состояния. Вывод и решение функционального уравнения Беллмана. Свойства оптимальной системы. Теорема разделения.	21	4	4		8	13
Текущий контроль (КСР)	1				1	
Промежуточная аттестация – зачет						
Итого	**72**	**16**	**16**		**33**	**39**

Текущий контроль успеваемости реализуется в форме собеседования по отчетам о выполнении практических работ.

Промежуточная аттестация проходит в традиционной форме (зачет).

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

a. Виды самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа обучающихся реализуется в следующих формах: выполнение домашних заданий по дисциплине, составление компьютерных программ на практических работах (оценочное средство «практическое задание (практическая работа)»), реализующих алгоритмы оптимальной фильтрации и оптимального управления по индивидуальным заданиям преподавателя и оформлении отчета по практическим работам. Самостоятельная работа контролируется преподавателем, как во время аудиторных занятий, так и во время внеаудиторной работы, в том числе с использованием консультаций по электронной почте.

Самостоятельная работа обучающихся заключается в ознакомлении с теоретическим материалом (по учебно-методическим пособиям, учебникам и научным работам, указанным в списке литературы); ответов на контрольные вопрос; в решении практических задач (оценочное средство «задачи»); разработке компьютерных программ на практических работах (оценочное средство «практическое задание (практическая работа)»), реализующих алгоритмы оптимальной фильтрации и оптимального управления и сдаче отчета по практическим работам (оценочное средство «собеседование»). Самостоятельная работа может осуществляться, как в читальном зале библиотеки, так и в домашних условиях.

b. Образовательные материалы для самостоятельной работы студентов

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

Контрольные вопросы, образцы вопросов для собеседования, типовые задачи, практические работы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	Не зачтено		Зачтено				
Знания	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 ошибки.	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, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
Умения	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
Навыки	Отсутствие владения материалом. 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.	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка	Уровень подготовки

зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «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», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

5.2.1 Контрольные вопросы

Вопросы	***Код формируемой компетенции***
1. Постановка задачи наблюдения.	ПК-3
2. Понятие наблюдаемости.	ПК-3
3. Матрицы наблюдаемости первого и второго рода.	ПК-3
4. Наблюдатели полного и пониженного порядка в виде моделей с обратной связью.	ПК-3
5. Метод наименьших квадратов.	ПК-3
6. Алгоритм рекуррентного гауссовского оценивания.	ПК-3
7. Понятие управляемости.	ПК-3
8. Двойственность задач наблюдения и управления	ПК-3
9. Метод минимизации среднеквадратической ошибки.	ПК-3
10. Уравнение Винера-Хопфа для дискретных систем..	ПК-3
11. Алгоритм рекуррентного гауссовско-марковского оценивания.	ПК-3
12. Алгоритм фильтрации Калмана для систем с дискретным временем	ПК-3
13. Постановка задачи стохастического оптимального управления для полной информации о векторе состояния.	ПК-3
14. Постановка задачи стохастического оптимального управления для неполной информации о векторе состояния	ПК-3
15. Вывод функционального уравнения Беллмана.	ПК-3
16. Решение функционального уравнения Беллмана.	ПК-3
17. Свойства стохастической оптимальной системы.	ПК-3
18. Теорема разделения.	ПК-3

5.2.2. Типовые <u>задачи</u> для оценки сформированности компетенции ПК-3 (выносимые на зачет)

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

$$x(k+1) = x(k), \quad k = 1,2,3...$$
$$y(k) = x(k) + w(k)$$

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

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

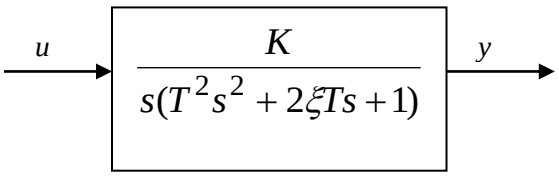
Определить стратегию управления, которая минимизирует средние потери, и найти минимальное значение функции потерь, когда допустимые стратегии управления такие, что $u(t)$ – функция $x(t)$. Найти также ограничения на закон управления при $N \to \infty$.

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 наблюдателя 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

$$\begin{bmatrix} x_1(k+1) \\ x_2(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0.5 \end{bmatrix} u(k),$$
$$y(k) = [0 \quad 1]x(k).$$

5.2.3 Образцы вопросов для собеседования для оценки сформированности компетенции ПК-3

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?

5.2.4 Практические работы для оценки сформированности компетенции ПК-3

Практические работы выполняются в компьютерном классе ПЭВМ по всем разделам дисциплины и включает в себя следующие работы:

– Практическая работа 1 «Расчет и моделирование наблюдателей полного и пониженного порядков с обратной связью»;

– Практическая работа 2 «Расчет и моделирование дискретного фильтра Калмана»;

– Практическая работа 3 «Расчет и моделирование стохастического оптимального регулятора дискретной линейной системы».

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:

$$\ddot{x} = u.$$

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

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} u.$$

Предполагая, что координата и ускорение доступны наблюдению, найдем оценку скорости $\hat{x}_1$. Уравнение выходной переменной будет иметь вид

$$y = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}.$$

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.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

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

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

3. YALMIP Wiki http://users.isy.liu.se/johanl/yalmip/
4. Scilab http://www.scilab.org/
5. SeDuMi – https://yalmip.github.io/allsolvers/

7.Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения:

- 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 ННГУ.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ 01.03.02 Прикладная математика и информатика.

Автор (ы) _____П.В. Пакшин

Рецензент (ы) _____

Заведующий кафедрой ТВиАД _____ А.В. Зорин

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики от 1 декабря 2021 года, протокол № 2.