

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

Математическое моделирование процессов управления

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

01.04.02 - Прикладная математика и информатика

Направленность образовательной программы

Математическая робототехника

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.03 Математическое моделирование процессов управления 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-4: Способен разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач	<p>ПК-4.1: Знает методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p> <p>ПК-4.2: Умеет применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p> <p>ПК-4.3: Имеет навыки применения методов разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p>	<p>ПК-4.1:</p> <p>Знать основные понятия и определения курса «Математическое моделирование процессов управления»:</p> <p>1. Передаточная функция. Операторный подход. Нормы сигналов. Нормы операторов. Нормы передаточных функций.</p> <p>2. Определение устойчивости непрерывных систем. Определение устойчивости дискретных систем. Методы исследования устойчивости, в том числе с использованием линейных матричных неравенств.</p> <p>3. Определение - управления.</p> <p>4. Модели неопределенности. Понятие робастной устойчивости.</p> <p>ПК-4.2:</p> <p>Уметь анализировать математические модели управляемых объектов и процессов, включая математические модели, описываемые дифференциальными и разностными уравнениями.</p>	Собеседование	Экзамен: Контрольные вопросы

		<p>ПК-4.3: Владеть методами и приемами аналитического и численного решения задач управления, в том числе для решения задач:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Синтеза регуляторов по состоянию и измеряемому выходу. 2. Оптимального гашения возмущений. 3. Оптимального линейно-квадратичного управления. 4. Робастной стабилизации. 		
<p>ПК-5: Способен разрабатывать и применять математические методы, системное и прикладное программное обеспечение для решения задач научной деятельности</p>	<p>ПК-5.1: Знает типовые математические методы и методологии разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной деятельности</p> <p>ПК-5.2: Умеет применять типовые математические методы и методологии разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной деятельности</p> <p>ПК-5.3: Имеет навыки разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной деятельности</p>	<p>ПК-5.1: Знать как строить математические модели управляемых объектов и процессов и формулировать задачи управления, включая задачи управления в условиях неопределенности.</p> <p>ПК-5.2: Уметь анализировать и корректировать процессы управления с использованием техники линейных матричных неравенств</p> <p>ПК-5.3: Владеть навыками использования универсальных математических пакетов для выполнения расчетов.</p>	<p>Отчет по лабораторным работам</p> <p>Собеседование</p>	<p>Экзамен:</p> <p>Контрольные вопросы</p>

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	4
Часов по учебному плану	144
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	2

самостоятельная работа	74
Промежуточная аттестация	36 Экзамен

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			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/ лабора- торные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	
Тема 1. Примеры математических моделей управляемых систем и процессов	8	1		1	7
Тема 2. Описание линейных управляемых систем в пространстве состояний. Передаточная функция. Операторный подход. Нормы сигналов. Нормы операторов. Нормы передаточных функций.	11	2	2	4	7
Тема 3. Виды управления. Программное управление. Обратная связь по состоянию. Обратная связь по выходу. Управляемость. Наблюдаемость.	11	2	2	4	7
Тема 4. Устойчивость. Устойчивость линейных непрерывных систем. Устойчивость дискретных систем. Критерии устойчивости. Методы исследования. Линейные матричные неравенства.	10	1	2	3	7
Тема 5. Стабилизация линейных управляемых систем. Задачи стабилизации по состоянию и по выходу. Примеры решения задач.	13	2	2	4	9
Тема 6. Оптимальное линейно-квадратичное управление. Синтез регуляторов по состоянию и измеряемому выходу.	13	2	2	4	9
Тема 7. Оптимальное гашение возмущений. Оптимальное H^∞ - управление.	9	1	1	2	7
Тема 8. Численные методы синтеза законов управления.	9	1	1	2	7
Тема 9. Законы управления в условиях неопределенности. Модели неопределенности. Робастная устойчивость.	11	2	2	4	7
Тема 10. Робастная стабилизация. Робастное H^∞ - управление.	11	2	2	4	7
Аттестация	36				
КСР	2			2	
Итого	144	16	16	34	74

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Примеры математических моделей управляемых систем и процессов.
2. Описание линейных управляемых систем в пространстве состояний. Передаточная функция. Операторный подход. Нормы сигналов. Нормы операторов. Нормы передаточных функций.
3. Виды управления. Программное управление. Обратная связь по состоянию. Обратная связь по выходу. Управляемость. Наблюдаемость.

4. Устойчивость. Устойчивость линейных непрерывных систем. Устойчивость дискретных систем. Критерии устойчивости. Методы исследования. Линейные матричные неравенства.
5. Стабилизация линейных управляемых систем. Задачи стабилизации по состоянию и по выходу. Примеры решения задач.
6. Оптимальное линейно-квадратичное управление. Синтез регуляторов по состоянию и измеряемому выходу.
7. Оптимальное гашение возмущений. Оптимальное H_∞ - управление.
8. Численные методы синтеза законов управления.
9. Законы управления в условиях неопределенности. Модели неопределенности. Робастная устойчивость.
10. Робастная стабилизация. Робастное H_∞ - управление.

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.

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используются:

- электронный курс "«Математическое моделирование процессов управления»" (<https://e-learning.unn.ru/course/view.php?id=6844>).

Иные учебно-методические материалы: Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- основных понятий и определения курса «Математическое моделирование процессов управления»:
- умения анализировать математические модели управляемых объектов и процессов, включая математические модели, описываемые дифференциальными и разностными уравнениями
- владения методами и приемами аналитического и численного решения задач управления
- знания как строить математические модели управляемых объектов и процессов и формулировать задачи управления, включая задачи управления в условиях неопределенности.
- владения навыками использования универсальных математических пакетов для выполнения расчетов.

1. Баландин Д.В., Городецкий С.Ю. КЛАССИЧЕСКИЕ И СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ РЕГУЛЯТОРОВ В ПРИМЕРАХ. Электронное учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. – 122 с.
http://www.unn.ru/books/met_files/Controls.pdf
2. А.А.Федюков Стабилизация по измеряемому выходу двухзвенного перевернутого маятника // Вестник ННГУ, Нижний Новгород, Издательство ННГУ, 2012, No 2, С 177-183.
http://www.unn.ru/books/met_files/Fedukov_AA.pdf
3. Федюков А.А. Синтез динамических регуляторов, обеспечивающих стабилизацию систем с ограничениями на фазовые переменные //Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2013. № 2. С. 152.
http://www.unn.ru/books/met_files/Fedukov_AA.pdf
4. Федюков А.А. Применение средств пакета MATLAB для численного решения задач стабилизации по выходу динамических систем с фазовыми ограничениями: учебно-методическое пособие. –[электронный ресурс]. –Нижний Новгород: Нижегородский

госуниверситет, 2014. –37 с.

http://www.unn.ru/books/met_files/Fedukov_AA.pdf

5. Неймарк Ю.И. Математические модели в естествознании и технике. Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2004. 401 с. 3экз

<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=23852&DB=1>

6. Неймарк Ю.И. Динамические системы и управляемые процессы. М.: Наука, 1978. 336 с. 41экз

<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=381303&DB=1>

7. Баландин Д.В., Коган М.М. Применение линейных матричных неравенств в синтезе законов управления. Учебно-методические материалы, подготовленные в рамках реализации программы «ННГУ-НИУ», 2010. 93 с. <http://www.unn.ru/e-library/methodmaterial.html?pscience=6>

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 - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

1. Записать необходимые и достаточные условия устойчивости линейной системы в терминах линейных матричных неравенств.
2. Записать условие робастной устойчивости линейной системы в терминах линейных матричных неравенств.
3. Записать решение задачи оптимального - управления в терминах линейных матричных неравенств.

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-5:

1. Описать модели управляемых объектов и процессов по измеряемому состоянию и выходу.
2. Сформулировать задачи стабилизации по состоянию и управляемому выходу.
3. Сформулировать задачи оптимального линейно-квадратичного управления по состоянию и управляемому выходу.

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки.
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований

5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам) для оценки сформированности компетенции ПК-5:

ПРОГРАММА ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА

1. Численное решение алгебраического уравнения Риккати в стационарной задаче оптимальной стабилизации.
2. Численное решение дифференциального матричного уравнения Риккати.
3. Численное решение задач оптимального быстродействия.

Критерии оценивания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки.
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований

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	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	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 и,	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов

				с недочетами	.	выполнены все задания в полном объеме	
<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 некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и 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 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 - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-4

1. Описание линейных управляемых систем в пространстве состояний. Передаточная функция.
2. Нормы сигналов. Нормы операторов. Нормы передаточных функций.
3. Линейные матричные неравенства для исследования устойчивости динамических систем.

4. Оптимальное - управление. Синтез законов H_∞ - управления по состоянию.
5. Модели неопределенности. Робастная устойчивость. Достаточные условия робастной устойчивости.
6. Робастная стабилизация. Робастное H_∞ - управление.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-5

1. Обратная связь по состоянию. Обратная связь по выходу. Управляемость. Наблюдаемость.
2. Задача стабилизации по состоянию и по измеряемому выходу.
3. Оптимальное линейно-квадратичное управление. Синтез законов управления по состоянию и по выходу.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
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»
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»

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

Основная литература:

1. Баландин Д. В. Классические и современные методы построения регуляторов в примерах : электронное учебно-методическое пособие / Баландин Д. В., Городецкий С. Ю. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2012. - 122 с. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Математика., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=729784&idb=0>.
2. Федюков Александр Анатольевич. Применение средств пакета MATLAB для численного решения задач стабилизации по выходу динамических систем с фазовыми ограничениями : учебно-методическое пособие / А. А. Федюков ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2014. - 37 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=850799&idb=0>.
3. Федюков Александр Анатольевич. Синтез законов управления динамическими системами с ограничениями на управляющие и фазовые переменные : автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук : 01.01.02 / А. А. Федюков ; ННГУ. - Нижний Новгород, 2022. - 22 с., 1 экз.
4. Неймарк Юрий Исаакович. Математические модели в естествознании и технике : учеб. для студентов вузов, обучающихся по направлению 510200 "Прикладная математика и информатика" и специальности 010200 "Прикладная математика и информатика" / ННГУ. - Н. Новгород : Изд-во Нижегород. ун-та, 2004. - 401 с. - ISBN 5-85746-496-X : 80.00., 156 экз.
5. Неймарк Юрий Исаакович. Динамические системы и управляемые процессы. - М. : Наука, 1978. - 336 с. : ил. - 1.50., 40 экз.
6. Федюков Александр Анатольевич. Применение средств пакета MATLAB для численного решения задач стабилизации по выходу динамических систем с фазовыми ограничениями : учебно-методическое пособие / А. А. Федюков ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2014. - 37 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=850799&idb=0>.
7. Федюков Александр Анатольевич. Синтез законов управления динамическими системами с ограничениями на управляющие и фазовые переменные : автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук : 01.01.02 / А. А. Федюков ; ННГУ. - Нижний Новгород, 2022. - 22 с., 1 экз.
8. Неймарк Юрий Исаакович. Математические модели в естествознании и технике : учеб. для студентов вузов, обучающихся по направлению 510200 "Прикладная математика и информатика" и специальности 010200 "Прикладная математика и информатика" / ННГУ. - Н. Новгород : Изд-во Нижегород. ун-та, 2004. - 401 с. - ISBN 5-85746-496-X : 80.00., 156 экз.
9. Неймарк Юрий Исаакович. Динамические системы и управляемые процессы. - М. : Наука, 1978. - 336 с. : ил. - 1.50., 40 экз.

Дополнительная литература:

1. Баландин Дмитрий Владимирович. Синтез законов управления на основе линейных матричных неравенств : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 010200 "Приклад. математика и информатика" и по направлениям 510200 "Приклад. математика и информатика", 511900 "Информ. технологии". - М. : Физматлит, 2007. - 280 с. - (Теория управления). - ISBN 978-5-9221-0780-8 : 84.00., 1 экз.
2. Баландин Дмитрий Владимирович. Синтез законов управления на основе линейных матричных неравенств : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 010200 "Приклад. математика и информатика" и по направлениям 510200 "Приклад. математика и информатика",

511900 "Информ. технологии". - М. : Физматлит, 2007. - 280 с. - (Теория управления). - ISBN 978-5-9221-0780-8 : 84.00., 1 экз.

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

Операционные системы семейства Microsoft Windows, пакет прикладных программ «MATLAB».
Интернет-ресурсы

1. Научная электронная библиотека

<http://e-library/>

2. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов //

<http://scholl-collection.edu.ru/>

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: Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы и помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет».

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/специальности 01.04.02 - Прикладная математика и информатика.

Автор(ы): Баландин Дмитрий Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор.

Заведующий кафедрой: Калинин Алексей Вячеславович, доктор физико-математических наук.

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