

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 Ученого совет ННГУ
протокол от
«30» ноября 2022 г. № 13

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Математическое моделирование процессов управления

Уровень высшего образования
магистратура

Направление подготовки (специальность)

01.04.02 Прикладная математика и информатика

Направленность/профиль подготовки (специализация)

**Математическое моделирование динамики систем и процессов
управления**

Форма обучения

очная

Нижний Новгород

2023 г.

1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Математическое моделирование процессов управления» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений. Код дисциплины - **Б1.В.03**.

№ 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.03, «Математическое моделирование процессов управления» относится к части ООП направления подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика, формируемой участниками образовательных отношений.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

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-4. Способен разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач	ПК-4.1. Знает методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач	<u>Знать</u> основные понятия и определения курса «Математическое моделирование процессов управления»: 1. Передаточная функция. Операторный подход. Нормы сигналов. Нормы операторов. Нормы передаточных функций. 2. Определение устойчивости непрерывных систем. Определение устойчивости дискретных систем. Методы исследования устойчивости, в том числе с использованием линейных матричных неравенств. 3. Определение H_∞ - управления. 4. Модели неопределенности. Понятие робастной устойчивости.	Собеседование

	ПК-4.2. Умеет применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач	<u>Уметь</u> анализировать математические модели управляемых объектов и процессов, включая математические модели, описываемые дифференциальными и разностными уравнениями.	Собеседование
	ПК-4.3. Имеет навыки применения методов разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач	<u>Владеть</u> методами и приемами аналитического и численного решения задач управления, в том числе для решения задач: 1. Синтеза регуляторов по состоянию и измеряемому выходу. 2. Оптимального гашения возмущений. 3. Оптимального линейно-квадратичного управления. 4. Робастной стабилизации.	Собеседование
ПК-5. Способен разрабатывать и применять математические методы, системное и прикладное программное обеспечение для решения задач научной деятельности	ПК-5.1. Знает типовые математические методы и методологии разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной деятельности	<u>Знать</u> как строить математические модели управляемых объектов и процессов и формулировать задачи управления, включая задачи управления в условиях неопределенности.	Собеседование
	ПК-5.2. Умеет применять типовые математические методы и методологии разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной деятельности	<u>Уметь</u> анализировать и корректировать процессы управления с использованием техники линейных матричных неравенств	Собеседование
	ПК-5.3. Имеет навыки разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной деятельности	<u>Владеть</u> навыками использования универсальных математических пакетов для выполнения расчетов.	Собеседование

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
Общая трудоемкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	34
- занятия лекционного типа	16
- занятия лабораторного типа	16
- контроль самостоятельной работы	2
самостоятельная работа	38
Промежуточная аттестация – экзамен	36

Содержание дисциплины (модуля) Математическое моделирование процессов управления.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	в том числе						
		контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы						
		из н типа их						
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	Самостоятельная работа студента часы	
1. Примеры математических моделей управляемых систем и процессов.	3	1				1		2
2. Описание линейных управляемых систем в пространстве состояний. Передаточная функция. Операторный подход. Нормы сигналов. Нормы операторов. Нормы передаточных функций.	8	2		2		4		4
3. Виды управления. Программное управление. Обратная связь по состоянию. Обратная связь по выходу. Управляемость. Наблюдаемость.	8	2		2		4		4

4. Устойчивость. Устойчивость линейных непрерывных систем. Устойчивость дискретных систем. Критерии устойчивости. Методы исследования. Линейные матричные неравенства.	7	1		2		3	4
5. Стабилизация линейных управляемых систем. Задачи стабилизации по состоянию и по выходу. Примеры решения задач.	8	2		2		4	4
6. Оптимальное линейно-квадратичное управление. Синтез регуляторов по состоянию и измеряемому выходу.	8	2		2		4	4
7. Оптимальное гашение возмущений. Оптимальное H_{∞} - управление.	6	1		1		2	4
8. Численные методы синтеза законов управления.	6	1		1		2	4
9. Законы управления в условиях неопределенности. Модели неопределенности. Робастная устойчивость.	8	2		2		4	4
10. Робастная стабилизация. Робастное H_{∞} - управление.	8	2		2		4	4
Текущий контроль КСР	2					2	
Промежуточная аттестация - экзамен	36						
Итого	108	16		16		34	38

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий лабораторного типа.

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.

Промежуточная аттестация проходит в традиционной форме экзамена.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Виды самостоятельной работы: подготовка к лекциям и практическим занятиям, изучение обязательной и дополнительной литературы, выполнение практических заданий.

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используется электронный курс «Математическое моделирование процессов управления», созданный в системе электронного обучения ННГУ - <https://e-learning.unn.ru/>.

<https://e-learning.unn.ru/course/view.php?id=6844>

Контрольные вопросы и задания 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, 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				
<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, без ошибок.	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 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	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 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.

Вопросы	Код формируемой компетенции
1. Описание линейных управляемых систем в пространстве	ПК-4

состояний. Передаточная функция.	
2. Нормы сигналов. Нормы операторов. Нормы передаточных функций.	ПК-4
3. Обратная связь по состоянию. Обратная связь по выходу. Управляемость. Наблюдаемость.	ПК-5
4. Линейные матричные неравенства для исследования устойчивости динамических систем.	ПК-4
5. Задача стабилизации по состоянию и по измеряемому выходу.	ПК-5
6. Оптимальное линейно-квадратичное управление. Синтез законов управления по состоянию и по выходу.	ПК-5
7. Оптимальное H_{∞} - управление. Синтез законов H_{∞} - управления по состоянию.	ПК-4
8. Модели неопределенности. Робастная устойчивость. Достаточные условия робастной устойчивости.	ПК-4
9. Робастная стабилизация. Робастное H_{∞} - управление.	ПК-4

5.2.2. Типовые вопросы 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 H_{∞} - управления в терминах линейных матричных неравенств.

5.2.3. Типовые вопросы 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.

5.2.4. 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.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература

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, № 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>

б) дополнительная литература

1. 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>

в) 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

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».

1. Операционные системы семейства Microsoft Windows, пакет прикладных программ «MATLAB».
2. Учебная и научная литература, учебно-методические материалы, представленные в библиотечном фонде, в электронных библиотеках и на кафедре дифференциальных уравнений, математического и численного анализа.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки 01.04.02 «Прикладная математика и информатика»

Автор д.ф.-м.н., профессор Баландин Д.В

Рецензент (ы) _____

Заведующий кафедрой_ д.ф.-м.н., Калинин А.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии Института информационных технологий, математики и механики от 30 ноября 2022 года, протокол № 3.