

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 управления

Уровень высшего образования

Специалитет

Направление подготовки / специальность

01.05.01 - Фундаментальные математика и механика

Направленность образовательной программы

Фундаментальная механика и приложения

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.26 Теория управления относится к обязательной части 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
ОПК-1: Способен находить, формулировать и решать актуальные и значимые проблемы фундаментальной математики и механики	ОПК-1.1: Знает основы фундаментальных физико-математических дисциплин и других естественных наук ОПК-1.2: Умеет формулировать, анализировать и решать профессиональные задачи с применением фундаментальных знаний математики, физики и других естественных наук ОПК-1.3: Имеет практический опыт постановки и решения актуальных задач математики и механики	ОПК-1.1: Знает фундаментальные понятия естественных наук, математики и информатики, основные факты, концепции, принципы при исследовании динамических систем ОПК-1.2: Умеет применять фундаментальные знания естественных наук, математики и информатики, основные факты, концепции, принципы при исследовании динамических систем ОПК-1.3: Владеет навыками применения фундаментальных знаний в области естественных наук, математики и информатики, основных фактов, концепций, принципов при исследовании динамических систем	Контрольная работа Практическое задание	Зачёт: Задачи Экзамен: Контрольные вопросы
ОПК-2: Способен создавать, анализировать и реализовывать новые математические модели в современном естествознании,	ОПК-2.1: Знает основные положения, терминологию и методологию в области математического и алгоритмического моделирования ОПК-2.2: Умеет осуществлять анализ и	ОПК-2.1: Знает основные понятия теории управления, стандартные задачи профессиональной деятельности с применением информационных технологий при исследовании	Контрольная работа Практическое задание	Зачёт: Задачи Экзамен: Контрольные вопросы

технике, экономике и управлении	выбор методов решения задач профессиональной и научной деятельности на основе теоретических знаний в области математических и компьютерных наук ОПК-2.3: Имеет практический опыт разработки новых методов математического моделирования для решения задач профессиональной и научной деятельности	динамических систем ОПК-2.2: Умеет осуществлять анализ и выбор методов решения задач теории управления ДС, создавать новые математические модели с применением информационных технологий ОПК-2.3: Владеет навыками решения и стандартных задач теории управления ДС, создания новых математических моделей с использованием информационных технологий.		
---------------------------------	--	--	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	8
Часов по учебному плану	288
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	64
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	64
- КСР	3
самостоятельная работа	121
Промежуточная аттестация	36 Экзамен, 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			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	0 Ф 0
Предмет и содержание теории управления. Важность теории управления динамическими системами. (ДС) (в частности механическими). Ключевые слова теории управления. Прямая и обратная связи. Примеры. Кибернетика как синтетическая наука. Исторический экскурс в кибернетику. Норберт Винер.	18	6	6	12	6
Понятие состояния динамической системы	16	4	4	8	8
Понятие равновесия и стационарные состояния ДС. Методы исследования устойчивости состояний равновесия и теоремы Ляпунова А.М. и Четаева Н.Г. Примеры. Необходимость применения теории управления в случае неустойчивости стационарных состояний.	55	10	10	20	35
Стабилизация верхнего положения маятника механически и средствами управления.	54	12	12	24	30
Управление и левитация. Теорема Ирншоу. Устойчивая левитация ферромагнитного тела без средств управления. Магнитный подвес. Стабилизация левитации управлением по току и напряжению. Линеаризация обратной связью. Релейный закон управления. Как осуществить управление цепной ядерной реакцией?	40	12	12	24	16
Авторулевой. «Послушная» и «непослушная» лодки. «Приведение» и «одрерживание». Программное управление. Стратегия управления. Идеальный авторулевой Неидеальности исполнительного и измерительного устройств. Релейное управление. Двухпозиционный авторулевой.	36	11	11	22	14
Исследования Максвелла и Вышнеградского систем прямого регулирования. Математическая модель системы «паровая машина с регулятором». Противоположные выводы исследователей. Изобретение изодрома. Современное состояние проблемы.	30	9	9	18	12
Аттестация	36				
КСР	3			3	
Итого	288	64	64	131	121

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Предмет и содержание теории управления. Важность теории управления динамическими системами. (ДС) (в частности механическими). Ключевые слова теории управления. Прямая и обратная связи. Примеры. Кибернетика как синтетическая наука. Исторический экскурс в кибернетику. Норберт Винер.
2. Понятие состояния динамической системы.
3. Понятие равновесия и стационарные состояния ДС. Методы исследования устойчивости состояний равновесия и теоремы Ляпунова А.М. и Четаева Н.Г. Примеры. Необходимость применения теории управления в случае неустойчивости стационарных состояний.
4. Стабилизация верхнего положения маятника механически и средствами управления.
5. Управление и левитация. Теорема Ирншоу. Устойчивая левитация ферромагнитного тела без средств управления. Магнитный подвес. Стабилизация левитации управлением по току и напряжению. Линеаризация обратной связью. Релейный закон управления. Как осуществить управление цепной ядерной реакцией?
6. Авторулевой. «Послушная» и «непослушная» лодки. «Приведение» и «одрерживание». Программное управление. Стратегия управления. Идеальный авторулевой Неидеальности исполнительного и измерительного устройств. Релейное управление. Двухпозиционный авторулевой.
7. Исследования Максвелла и Вышнеградского систем прямого регулирования. Математическая модель системы «паровая машина с регулятором». Противоположные выводы исследователей. Изобретение изодрома. Современное состояние проблемы.

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.

В рамках дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы (порядок их выполнения, форма контроля):

- повторение материала, пройденного на занятиях лекционного типа (в течение всего семестра, опрос на занятиях лекционного и семинарского типа),
- самостоятельное изучение отдельных вопросов программы (1 раз в семестр, опрос на занятиях семинарского типа),
- подготовка к занятиям семинарского типа, решение задач по списку, представленному преподавателем (в течение всего семестра, опрос на занятиях семинарского типа),
- подготовка к промежуточному контролю успеваемости (зачет, экзамен).

Дополнительная литература:

1. Пятницкий Е.С. Избранные труды. В 3 т. Т. 1. Теория управления. М.: Физматлит, 2004.
2. Баландин Д.В., Коган М.М. Управление движением вертикального жесткого ротора, вращающегося в электромагнитных подшипниках // Изв. РАН. ТиСУ. 2011. №5.
3. Поляк Б.Т., Щербаков П.С. Робастная устойчивость и управление. М.: Наука, 2002. . Сборник докладов, 2015
4. Коробкова А.В., Сандалов В.М. О стабилизации вертикальных колебаний тела в электромагнитном подвесе // Моделирование динамических систем: Сб. науч. трудов Нф ИМАШ РАН / Н.Новгород, 2011
5. Калишева Д.О., Сандалов В.М. Стабилизация вертикальных колебаний жесткого тела за счет управления по напряжению // Нелинейные колебания механических систем: Труды IX Всероссийск. науч. конф. им. Ю.И. Неймарка / Н Новгород, 2012.
6. Глушихина М.А., Сандалов В.М. Стабилизация колебаний тела в магнитном подвесе // Нелинейные колебания механических систем: Труды IX Всероссийск. науч. конф. им. Ю.И. Неймарка / Н Новгород, 2012

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 - Контрольная работа) для оценки сформированности компетенции ОПК-1:

Темы контрольных работ:

1. Язык теории управления механическими системами. Основное ключевое слово. Примеры управляемых и неуправляемых систем.
2. Решение конкретных задач по построению управлений для неустойчивых объектов, как абстрактных, так и конкретных.

3. Задачи с параметрами в управляемых динамических системах

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольная работа) для оценки сформированности компетенции ОПК-2:

Темы контрольных работ:

1. Язык теории управления механическими системами. Основное ключевое слово. Примеры управляемых систем.
2. Решение конкретных задач по построению управлений для неустойчивых объектов.
3. Кибернетика как наука синтетического типа. Прямая и обратная связи в управляемых динамических системах. Примеры

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольная работа)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Ответ полный и правильный на основании изученной теории; теоретический материал и решение поставленных задач изложены в необходимой логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный. Могут быть допущены две-три не существенные ошибки, исправленные по требованию преподавателя
не зачтено	Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя

5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ОПК-1:

1. Предмет и содержание теории управления.
2. Кибернетика как наука синтетическая наука
3. Основное ключевое слово теории управления.
4. Теория автоматического регулирования – системы управления Ползунова и Уатта.
5. Прямая и обратная связи в управляемых динамических системах. Примеры.
6. Науки, которые синтезировала в себя кибернетика.
7. Информация, алгоритм, изоморфизм и обратная связь – ключевые слова кибернетики.
8. Оптимизация, адаптация и обучение – ключевые понятия современной теории управления.

5.1.4 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ОПК-2:

1. Теоремы Ляпунова А.М., Четаева Н.Г., Барбашина-Красовского об устойчивости и неустойчивости СР.
2. Стабилизация верхнего положения маятника механическими средствами.
3. Стабилизация верхнего положения маятника средствами управления.
4. Левитация. Теорема Ирншоу.
5. Устойчивая левитация по вертикали ферромагнитного шарика без средств управления.
6. Магнитный подвес. Стабилизация левитации управлением по току.
7. Стабилизация левитации управлением по напряжению.

8. Линеаризация обратной связью.

Критерии оценивания (оценочное средство - Практическое задание)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Ответ полный и правильный на основании изученной теории; теоретический материал и решение поставленных задач изложены в необходимой логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный. Могут быть допущены две-три незначительные ошибки, исправленные по требованию преподавателя
не зачтено	Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя

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

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатор 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 незначительных 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 незначительными недочетами, выполнены все задания в	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов

						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 - Задачи) для оценки сформированности компетенций ОПК-1

- Будет ли нулевое СР ДС, описываемой уравнением $\ddot{x} + \ddot{x} + \dot{x}^2 + 2x = u(t)$ устойчивым при $u(t) \equiv 0$? Можно ли сделать его устойчивым, выбрав управление $u(t) = \alpha x + \beta \dot{x}$? В плоскости параметров (α, β) изобразите $D(0)$.

2. $\ddot{x} + \alpha \dot{x} - \beta x = u(t), \alpha > 0, \beta > 0$

а) Является ли СР $x \equiv 0$ асимптотически устойчивым?

б) Можно ли выбрав управление $u(t) = a \dot{x} + b x$ сделать его устойчивым?

3. Характеристическое уравнение линеаризованной системы около нулевого СР таково $\lambda^3 + \lambda^2 - 2\lambda + \beta = 0$. Найдите условие асимптотической устойчивости СР и изобразите область $D(0)$ на плоскости параметров. Пусть эти условия не выполнены. Найдите параметры функции управления $u(t) = a \dot{x} + b x$, которые обеспечат асимптотическую устойчивость.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ОПК-2

1. Динамическое уравнение модели левитации, обеспечивающей устойчивость ферромагнитного тела по вертикали при управлении по току, имеет вид (см. лекции):

$$m\ddot{z} = -mg + \frac{L_0 z_0}{2} \left(\frac{J_1^2}{(z_0 - z)^2} - \frac{J_2^2}{(z_0 + z)^2} \right).$$

Зададим управляющие точки: $J_1 = J_{01} + \hbar_1 \dot{z} + k_1 z$; $J_2 = J_{02} + \hbar_2 \dot{z} + k_2 z$, где J_{01}, J_{02} - стационарные точки в неустойчивом положении равновесия. Найти их, а также условия устойчивости в малом по параметрам $k_1, \hbar_1, k_2, \hbar_2$. Определите типы СР.

Частный случай $J_1 = J_{01} + k_1 z, J_2 = 0$.

2. Динамическое уравнение модели левитации, обеспечивающей устойчивость ферромагнитного тела по вертикали при управлении по току, имеет вид (см. лекции):

$$m\ddot{z} = -mg + \frac{L_0 z_0}{2} \left(\frac{J_1^2}{(z_0 - z)^2} - \frac{J_2^2}{(z_0 + z)^2} \right).$$

Зададим управляющие точки: $J_1 = J_{01} + \hbar_1 \dot{z} + k_1 z$; $J_2 = J_{02} + \hbar_2 \dot{z} + k_2 z$, где J_{01}, J_{02} - стационарные точки в неустойчивом положении равновесия. Найти их, а также условия устойчивости в малом по параметрам $k_1, \hbar_1, k_2, \hbar_2$. Определите типы СР.

Частный случай $J_1 = J_{01} + k_1 z, J_2 = J_{02} + k_2 z$.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Ответ полный и правильный на основании изученной теории; теоретический материал и решение поставленных задач изложены в необходимой логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный. Могут быть допущены две-три не существенные ошибки, исправленные по требованию преподавателя
не зачтено	Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя

5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-1

1. Кибернетика как наука синтетического типа
2. Задача об авторулевом. Фазовый портрет неуправляемой лодки. Как организовать управление ею?
3. Цели управления лодкой. Стратегии управления. Оптимальная стратегия.
4. Линейная стратегия управления лодкой.
5. Блок-схема реального авторулевого с пояснениями.
6. Релейный закон управления лодкой. Скользящий режим.

5.3.4 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-2

1. Управление – могучее средство изменения поведения и свойств динамических объектов и систем. Управление как возможность стабилизации механических систем.
2. Как построить управление неустойчивым СР линейной ДС третьего порядка, чтобы СР стало устойчивым?
3. Иерархическая система управления. На примере Нижегородского Университета
4. Как строится управление ядерным реактором, позволяющее использовать ценную реакцию в мирных целях?
5. Можно ли увеличить область асимптотической устойчивости стационарного рабочего режима конкретного технического устройства с помощью теории управления?

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки
отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки.

Оценка	Критерии оценивания
	Допущено несколько несущественных ошибок
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа

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

Основная литература:

1. Неймарк Юрий Исаакович. Динамические модели теории управления. - М. : Наука, 1985. - 400 с. : ил. - 3.80., 57 экз.
2. Неймарк Юрий Исаакович. Математическое моделирование как наука и искусство : учебник / Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского. - Изд. 2-е, испр. и доп. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2010. - ISBN 978-5-91326-145-8 : 415.01., 2 экз.
3. 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.
4. Болтянский Владимир Григорьевич. Математические методы оптимального управления. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Наука, 1969. - 408 с. : с черт. - 1.45., 30 экз.

Дополнительная литература:

1. Срагович Владимир Григорьевич. Адаптивное управление. - М. : Наука, 1981. - 381 с. : ил. - 2.40., 1 экз.

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

<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics/control.htm>

<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mathematics/asymptotic.htm>

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: проектор, экран

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 специальности 01.05.01 - Фундаментальные математика и механика.

Автор(ы): Сандалов Владимир Михайлович, кандидат физико-математических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Игумнов Леонид Александрович, доктор физико-математических наук.

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