

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ОШСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ВЫСШАЯ ШКОЛА МЕЖДУНАРОДНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ  
ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ И ЕВРАЗИЙСКОЙ ИНТЕГРАЦИИ

«Утверждена»-  
на заседании отд. РиЕИ  
Пр.№\_\_\_\_ от\_\_\_\_ 2023 г.  
Зав. отд.доц. Акматова Д.А.

«Согласовано»-  
Руководитель программы  
«МКН»  
проф. Турсунов Д.А.

«\_\_\_\_»\_\_\_\_ 2023 г.

«Согласовано»-  
Председатель УМС  
Парпиева А.А.  
«\_\_\_\_»\_\_\_\_ 2023 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

**Дисциплина:** Теория оптимизации

**для студентов очного отделения, обучающихся по направлению:** Математика и компьютерные науки

### Расчет часов по учебному плану

Теория оптимизации	Количество часов				СРС	Отчетность		
	Всего	Аудиторные занятия						
		Всего ауд.	Лекция	Практика				
3 курс, 6 сем.	120 часов 4 кредита	60	30	30	60	Экзамен		

Учебная программа (силлабус) составлена на основе Государственного образовательного стандарта по направлению “Прикладная математика и информатика” для магистрантов, обучающихся в очном отделении с применением дистанционных технологий.

Составитель: д.ф.-м.н., преп. \_\_\_\_\_ Шайдуллаев Б.К.

Ош – 2023

## **1. Пояснительная записка**

1. Дисциплина «Современные проблемы численных методов оптимизации» входит в блок дисциплин учебного плана для магистров. Основные разделы дисциплины:

Аналитический метод оптимизации, численные методы оптимизации, программирование в MathCade.

## **2. Цели и задачи дисциплины**

**Цель изучения дисциплины** – формирование у аспирантов углубленных профессиональных знаний в области теории оптимального управления

**Задачи дисциплины:**

- раскрыть роль математической теории управления в исследовании управляемых динамических систем
- рассмотреть различные постановки прикладных задач теории управления;
- показать содержание этих задач и их решений на конкретных примерах;
- изучить способы формирования критерия качества в зависимости от специфики задачи;
- изучить методы нахождения оптимального управления и область их применимости;
- рассмотреть сравнительную характеристику этих методов.

**3. РО 1.** Способность использовать углубленные теоретические и практические знания в области прикладной математики и информатики.

**РО 2.** способность разрабатывать аналитические обзоры состояния области прикладной информационных технологий по направлениям профильной подготовки.

**Текущий контроль** уровня усвоения материала осуществляется по результатам выполнения магистрантов теоретических и практических заданий.

**Итоговый контроль** реализуется в форме защиты итоговых СРМ.

## **4. Политика курса**

Этот курс, читаемый для магистрантов по направлению «Прикладная математика и информатика» факультета Математики и информационных технологий, предполагает рассмотрение на практических занятиях задач и примеров, непосредственно связанных с будущей специальностью магистрантов.

Учебный процесс осуществляется с применением модульно-рейтинговой системы оценивания успеваемости магистрантов с помощью информационной системы AVN.

*Магистрантам предъявляется, следующие системы требований и правил поведения на занятиях:*

- а). Обязательное посещение занятий;
- б). Активность во время занятий;
- в). Подготовка к занятиям, к выполнению домашнего задания и СРС.

При необходимости, явка к консультации по понедельникам с 14<sup>00</sup> – 16<sup>00</sup> (ауд. 325).

**Недопустимо:**

- Опоздание и уход с занятий;
- Пользование сотовыми телефонами во время занятий;
- Обман и плагиат;
- Несвоевременная сдача заданий.

## **5. Пререквизиты курса**

Базой для изучения дисциплины «Оптимальное управление» являются дисциплины, «Математический анализ», «Алгебра и геометрия», «Дифференциальные уравнения», «Уравнения математической физики», «Численные методы», «Информационные технологии».

## **6. Постреквизиты курса**

Дисциплина «Оптимальное управление» является основой для выполнения магистерской работы.

## **7. Требования к уровню освоения дисциплины**

В результате изучения дисциплины магистрант должен:

**Иметь представление:**

- о задачах теории управления и теории оптимального управления для систем, заданных уравнениями в пространстве состояний;
- о методах нахождения оптимального управления динамическими системами;
- об области применимости этих методов.

**Знать:**

- базовую терминологию, относящуюся к теории оптимального управления;
- основные принципы управления: жесткое управление (разомкнутая система программного управления), регулирование (замкнутая система программного управления);

- основные сведения калмановской теории управляемых систем: множество допустимых управлений, область достижимости, полная управляемость и полная наблюдаемость системы;
- критерии полной управляемости и наблюдаемости системы;
- наблюдатели полного и пониженного порядков;
- постановки задачи стабилизации программных движений, в том числе, стабилизации по части переменных и стабилизации инвариантных множеств;
- постановку задачи оптимальной стабилизации линейных и нелинейных систем;
- общий вид уравнения Беллмана и его частные случаи для задачи быстродействия и линейно-квадратичной задачи оптимального управления.
- постановку задачи нахождения оптимального управления на основе принципа максимума Понтрягина: гамильтониан, сопряженные переменные, краевая задача принципа максимума, условия трансверсальности, основная теорема принципа максимума Понтрягина;

**Уметь:**

- применять критерии полной управляемости и полной наблюдаемости линейных стационарных управляемых систем;
- устанавливать стабилизируемость не вполне управляемых стационарных линейных систем и находить стабилизирующее управление;
- находить оптимальное управление методом динамического программирования Беллмана для дискретных систем;
- находить решение задачи оптимальной стабилизации в линейно-квадратической задаче оптимального управления с постоянными коэффициентами;
- практически определять в задаче быстродействия оптимальное управление и оптимальную траекторию;
- определять, какой из подходов к задачам оптимального управления следует применять в конкретном случае.

## 8. Образовательные технологии

Изучение дисциплины предполагает использование традиционных способов коллективного обучения – лекций, практических, индивидуальных заданий с последующей отчетностью.

Применяемые информационные технологии: *лекции в форме презентаций, обучающие и тестирующие программы, электронные учебники*.

Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, рубежного контроля по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы магистрантов:

**Формой текущего контроля знаний студентов является контроль правильности выполнения и оформления лабораторных и самостоятельных работ.**

**Формой промежуточного контроля знаний и умений магистрантов по курсу является модули.**

**Формой итогового контроля знаний и умений магистрантов по курсу является экзамен.**

## 9. Технологическая карта

2- семестр

Всего часов	Ауд. занятия	Лекция	Практика	СРС	1 модуль (30 б.)			2 модуль (30 б.)			Итоговый контроль (40б.)			
					Текущий контроль			Рубежный контроль	Текущий контроль			Рубежный контроль	Лекция	
					Лекция	Практика	СРС		Лекция	Практика	СРС			
120	60	30	30	60	20	18	21		10	12	39			
Баллы					146	66	106		146	66	106	10 б	206	106
Итого модулей					K1=14+6+10=30 б.				K2=14+6+10=30 б.			И=10+20+10=40 б.		
Общий балл					K=K1+K2+И=30+30+40=100б									

## 10. Тематический план лекционного занятия

1-семестр

№	Наименование разделов, модулей, темы и учебных вопросов	К-во часов
<b>Модуль 1</b>		
1	Введение, цель и задачи дисциплины. Понятие об управляемых системах. Математическое описание управляемых систем. Основные требования к математическим моделям.	3
2	Функция, функционал, оператор.	2
3	Элементы вариационного исчисления. Уравнение Эйлера.	2
4	Общая постановка задачи оптимального управления для непрерывных и многошаговых процессов в скалярной и векторной формах. Классификация методов и решения задач оптимального управления.	3
5	Алгебраические критерии в задачах управления. Управляемость линейных нестационарных систем. Область достижимости. Критерий управляемости.	3
6	Управляемость линейных стационарных систем. Критерий Калмана. Приведение не вполне управляемой системы к каноническому виду. Наблюдаемость и идентифицируемость линейных систем.	3

<b>Модуль 2</b>		
7	Непрерывная стабилизация линейных дифференциальных систем. Стабилизуемость вполне управляемых систем.	2
8	Простейшие задачи оптимального управления (задача об управлении с минимальной энергией, управление с минимальной силой).	2
9	Принцип оптимальности. Эвристическое обоснование принципа оптимальности.	2
10	Уравнение Беллмана и его анализ. Синтез оптимального регулятора для линейных систем.	2
11	Принцип максимума Понtryгина как необходимое условие оптимальности первого порядка. Основная теорема принципа максимума Понtryгина. Оптимальное управление при ограничениях фазовых координат.	2
12	Условия оптимальности в случае граничных поверхностей произвольного порядка. Синтез систем управления, оптимальных по квадратичному критерию.	2
	Всего	24

## 11. Тематический план практических занятий

1-семестр

№	Наименование разделов, модулей, темы и учебных вопросов	К-во часов
<b>Модуль 1</b>		
1	Математическое описание управляемых систем. Основные требования к математическим моделям.	2
2	Элементы вариационного исчисления. Уравнение Эйлера.	2
3	Общая постановка задачи оптимального управления для непрерывных и многошаговых процессов в скалярной и векторной формах. Классификация методов и решения задач оптимального управления.	3
4	Алгебраические критерии в задачах управления. Управляемость линейных нестационарных систем. Область достижимости. Критерий управляемости.	3
5	Управляемость линейных стационарных систем. Критерий Калмана. Приведение не вполне управляемой системы к каноническому виду. Наблюдаемость и идентифицируемость линейных систем.	2
<b>Модуль 2</b>		
6	Простейшие задачи оптимального управления (задача об управлении с минимальной энергией, управление с минимальной си-	2

	лой).	
7	Задача выбора оптимальной стратегии в многошаговом процессе, определяемом разностным уравнением.	2
8	Примеры многошаговых процессов принятия решений, возникающих при управлении производственными процессами.	2
9	Задача об оптимальном быстродействии. Задача об оптимальной стабилизации для линейной стационарной системы. Матричное уравнение Риккати.	2
10	Оптимальное управление при ограничениях фазовых координат.	2
11	Условия оптимальности в случае граничных поверхностей произвольного порядка.	2
	Всего	22

*Тестовый контроль проводится в виде опроса по теоретическим вопросам дисциплины при защите СРМ.*

*При изучении дисциплины магистранты должны выполнить 5 СРМ по темам, оговоренным рабочей программой. Своевременной называется исполнение СРМ в течение двух недель с момента предоставления задания по плану занятий. По результатам выполнения каждой СРМ магистранту выставляется оценка.*

## 12.

### Вопросы к экзамену на 1 семестр

1. Понятие об управляемых системах. Математическое описание управляемых систем.
2. Общая постановка задачи оптимального управления для непрерывных и многошаговых процессов в скалярной и векторной формах.
3. Классификация методов и решения задач оптимального управления.
4. Управляемость линейных нестационарных систем. Область достижимости. Критерий управляемости.
5. Управляемость линейных стационарных систем. Критерий Калмана.
6. Приведение не вполне управляемой системы к каноническому виду.
7. Наблюдаемость и идентифицируемость линейных систем. Асимптотические идентификаторы. Наблюдатели. Принцип двойственности задач управления и наблюдения.
8. Управление линейными системами при неполных измерениях. Адаптивное управление.
9. Непрерывная стабилизация линейных дифференциальных систем. Стабилизируемость вполне управляемых систем.
10. Условия существования стабилизирующего управления не вполне управляемой системы.

11. Стабилизация по части переменных и стабилизация инвариантных множеств.
  12. Стабилизация линейных систем при неполной информации.
  13. Стабилизация линейных систем при помощи асимптотического наблюдателя.
  14. Непрямое регулирование. Релейная стабилизация.
  15. Оптимальная стабилизация линейных непрерывных систем.
  16. Принцип оптимальности. Эвристическое обоснование принципа оптимальности. Задача выбора оптимальной стратегии в многошаговом процессе, определяемом разностным уравнением.
  17. Уравнение Беллмана и его анализ.
  18. Синтез оптимального регулятора для линейных систем.
  19. Задача об оптимальном быстродействии.
  20. Задача об оптимальной стабилизации для линейной стационарной системы.
  21. Матричное уравнение Риккати.
  22. Основная теорема принципа максимума Понтрягина.
  23. Оптимальное управление при ограничениях фазовых координат.
  24. Условия оптимальности в случае граничных поверхностей произвольного порядка.
  25. Синтез систем управления, оптимальных по квадратичному критерию.
  26. Принцип максимума для оптимальности по быстродействию.
  27. Оптимальное по быстродействию управление линейными объектами.
- Теорема Фельдбаума.
28. Аппроксимация поверхности переключения.
  29. Синтез оптимальных по быстродействию систем при ограничении фазовых координат.

### **13. Учебно-методическое обеспечение**

#### **a) основная литература:**

1. Афанасьев В.Н. Математическая теория конструирования систем управления: Учебник для вузов / Афанасьев В.Н., Колмановский В.Б., Носов В.Р. - М.: Высшая школа, 2004- 574с. ISBN 5-06-002662-0 (Рек. МО РФ)
2. Благодатских В.И. Введение в оптимальное управление (линейная теория): Учебник / В.И. Благодатских - М.: Высшая школа, 2001 - 239с ISBN 5-06-003983-8
3. Егоров, Александр Иванович. Основы теории управления : учеб. пособие для вузов / А.И. Егоров. - М. : Физматлит, 2007. - 504 с. : ил. ISBN 978-5-9221-0543-9

#### **б) Дополнительная**

1. Ванько В. И., Ермошина О. В., Кувыркин Г. Н.. Вариационное исчисление и оптимальное управление. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999.
2. Александров В.В., Болтянский В.Г., Лемак С.С., Парусников Н.А., Тихомиров В.М. Оптимальное управление движением. М.: Физматлит, 2005 (Рек. УМО)
3. Понтрягин Л.С. и др. Математическая теория оптимальных процессов. - М. Физматгиз, 1961.

## *Наглядные пособия и технические средства обучения*

1. Презентации лекций в формате Power Point.
2. Мультимедийный проектор.
3. Телевизор, DVD-проигрыватель.
4. Видеоматериалы в DVD-формате.

## **14. Критерии оценки знаний магистрантов**

Выставление оценок на экзаменах осуществляется на основе принципов объективности, справедливости, всестороннего анализа качества знаний магистрантов, и других положений, способствующих повышению надежности оценки знаний обучающихся и устранению субъективных факторов.

В соответствии с действующими нормативными актами и рекомендациями Министерства образования и науки КР устанавливаются следующие критерии выставления оценок на экзаменах:

- оценка "*отлично*" выставляется магистранту, который обнаружил на экзамене всестороннее, систематическое и глубокое знание учебно-программного материала, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, который усвоил основную литературу и ознакомился с дополнительной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка "*отлично*" выставляется студентам, усвоившим взаимосвязь основных понятий дисциплины и их значений для приобретаемой профессии, проявившим творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала;

- оценка "*хорошо*" выставляется магистранту, который на экзамене обнаружил полное знание учебно-программного материала, успешно выполнил предусмотренные в программе задания, усвоил основную литературу, рекомендованную в программе. Как правило, оценка "*хорошо*" выставляется магистрантам, показавшим систематический характер знаний по дисциплине и способным к их самостоятельному выполнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности;

- оценка "*удовлетворительно*" выставляется магистранту, обнаружившему знание основного учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющемуся с выполнением заданий, предусмотренных программой, который ознакомился с основной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка "*удовлетворительно*" выставляется магистрантам, допустившим погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладающим необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя;

- оценка "*неудовлетворительно*" выставляется магистранту, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий, не ознакомившемуся с основной литературой, предусмотренной программой, и не овладевшему базовыми знаниями, предусмотренными по данной дисциплине и определенными соответствующей программой курса (перечень основных знаний и умений, которыми должны овладеть студенты, является обязательным элементом рабочей программы курса).

Оценка знаний (академической успеваемости) магистранту осуществляется по 100 балльной системе (шкале) следующим образом:

<b>Рейтинг (баллы)</b>	<b>Оценка по буквеннной системе</b>	<b>Цифровой эквивалент оценки по GPA</b>	<b>Оценка по традиционной системе</b>
87 – 100	A	4,0	Отлично
80 – 86	B	3,33	
74 – 79	C	3,0	Хорошо
68 - 73	Д	2,33	
61 – 67	E	2,0	Удовлетворительно
31 - 60	FX	0	Неудовлетворительно
0 - 30	F	0	

## Содержание

1. Пояснительная записка .....
2. Цели и задачи дисциплины .....
3. Основные задачи курса: .....
4. Политика курса .....
5. Пререквизиты курса .....
6. Постреквизиты курса .....
7. Требования к уровню освоения дисциплины .....
8. Образовательные технологии .....
9. Технологическая карта .....
10. Тематический план лекционного занятия.....
11. Тематический план лабораторных занятий .....
12. Задания для СРМ .....
13. Учебно-методическое обеспечение.....
14. Критерии оценки знаний магистрантов .....