

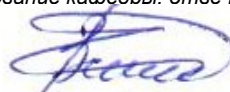
МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой

Системного анализа и управления

наименование кафедры, отвечающей за реализацию дисциплины



Задорожний В.Г.  
подпись, расшифровка подписи

29.05.2023\_г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В.07 Математические и компьютерные методы оптимального управления**

*Код и наименование дисциплины в соответствии с учебным планом*

**1. Код и наименование направления подготовки/специальности:**

01.03.02 Прикладная математика и информатика \_\_\_\_\_

**2. Профиль подготовки/специализация:** Динамические системы и управление

**3. Квалификация выпускника:** Бакалавр \_\_\_\_\_

**4. Форма обучения:** Очная \_\_\_\_\_

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** Системного анализа и управления \_\_\_\_\_

**6. Составители программы:** Коструб Ирина Дмитриевна, кандидат физ.-мат. наук, доцент \_\_\_\_\_

*(ФИО, ученая степень, ученое звание)*

**7. Рекомендована:** Научно-методическим советом факультета прикладной математики, информатики и механики (протокол №07 от 26.05.2023)

\_\_\_\_\_  
*(наименование рекомендующей структуры, дата, номер протокола,*

\_\_\_\_\_  
*отметки о продлении вносятся вручную)*

**8. Учебный год:** 2026/2027

**Семестр(ы):** 7

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины

*Целями освоения учебной дисциплины являются:*

- изучение современных методов исследования и моделирования информационных процессов и технологий;
- формирование алгоритма исследования слабоуправляемых систем и его применение для решения задачи управления конкретными базовыми моделями для формирования умений и навыков использования современных математических и компьютерных методов, разработки и адаптации алгоритмических и программных решений в задачах анализа динамических систем, оптимизации и оптимального управления.

*Задачи учебной дисциплины:*

- изучение студентами основных положений системного подхода к анализу информационных систем и процессов как объектов моделирования;
- освоение студентами этапов, выполняемых при разработке, реализации и исследовании компьютерных моделей информационных систем и процессов, с формулированием цели и задачи каждого этапа, а также необходимых условий применения различных методов и технологий моделирования;
- обучение студентов выбору подходящего метода моделирования для конкретной информационной системы или процесса с учётом имеющихся целей и задач моделирования;
- ознакомление студентов с современными инструментальными средствами компьютерного моделирования, планирования и проведения экспериментов, а также для выполнения статистической обработки и оценки достоверности результатов моделирования;
- формирование практических навыков использования современных технологий и пакетов прикладных программ для решения задач анализа динамических систем, оптимизации и оптимального управления;
- обучение методам нахождения способов стабилизации управляемых процессов;
- формирование навыков и умений осуществления правильного выбора алгоритма и средств его реализации при решении задач управления и оптимизации;
- формирование практических навыков разработки и реализации математических методов управления и оптимизации.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** Блок Б.1, вариативная часть; для её успешного освоения требуется знание основных разделов курса математического анализа, линейной алгебры, аналитической геометрии, функционального анализа, методов оптимизации, численных методов.

**11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:**

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-4	Способен использовать современные математические и компьютерные методы в задачах анализа динамических систем, оптимизации и оптимального управления	ПК-4.1	Использует современные технологии и пакеты прикладных программ для решения задач анализа динамических систем, оптимизации и оптимального управления.	<b>Знать:</b> современные ИС, технологии и пакеты прикладных программ для решения задач анализа динамических систем, задач математической физики, оптимизации и оптимального управления <b>Уметь:</b> находить оптимальный способ управления прикладными процессами. <b>Владеть:</b> правильными способами выбирать алгоритм и средства его реализации при решении задач управления и оптимизации
		ПК-4.2	Находит способы стабилизации управляемых	<b>Знать:</b> современные ИС, технологии и пакеты прикладных программ для решения задач

			процессов.	анализа динамических систем, задач математической физики, оптимизации и оптимального управления <b>Уметь:</b> находить оптимальный способ управления прикладными процессами. <b>Владеть:</b> правильными способами выбирать алгоритм и средства его реализации при решении задач управления и оптимизации
		ПК-4.3	Правильно выбирает алгоритм и средства его реализации при решении задач управления и оптимизации.	<b>Знать:</b> современные ИС, технологии и пакеты прикладных программ для решения задач анализа динамических систем, задач математической физики, оптимизации и оптимального управления <b>Уметь:</b> находить оптимальный способ управления прикладными процессами. <b>Владеть:</b> правильными способами выбирать алгоритм и средства его реализации при решении задач управления и оптимизации
ПК-5	Способен разрабатывать и адаптировать алгоритмические и программные решения для задач анализа динамических систем, оптимизации и оптимального управления	ПК-5.3	Разрабатывает и реализует математические методы управления и оптимизации.	<b>Знать:</b> методы и приемы формализации задач; методы и приемы алгоритмизации поставленных задач; стандартные алгоритмы и области их применения; нормативно-технические документы по процессам управления изменениями и проблемами <b>Уметь:</b> использовать методы параллельной обработки данных, информацию о: методах и приемах формализации задач; методах и приемах алгоритмизации поставленных задач; стандартных алгоритмах и областях их применения; нормативно-технических документах по процессам управления изменениями и проблемами. <b>Владеть:</b> языками программирования и другими компьютерными средствами для решения конкретных задач.

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час.**(в соответствии с учебным планом)— 3 / 108 .

**Форма промежуточной аттестации**(зачет/экзамен) экзамен

**13. Трудоемкость по видам учебной работы**

Вид учебной работы	Трудоемкость	
		По семестрам

		Всего	№семестра	№семестра	...
Аудиторные занятия		48		7	
в том числе:	лекции	32		7	
	практические				
	лабораторные	16		7	
Самостоятельная работа		24		7	
в том числе: курсовая работа (проект)				7	
Форма промежуточной аттестации (экзамен – 36 час.)		36		7	
Итого:		108		7	

### 13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
<b>1. Лекции</b>			
1.1	Метод малого параметра в задачах оптимального управления	1.Общая постановка задачи оптимального управления. 2.Принцип максимума Понтрягина для неавтономных систем 3.Построение и обоснование алгоритма решения задачи оптимального управления для слабоуправляемых систем	<u>МКМОУ_01.0</u> 3.02
1.2	Задача о полёте на максимальную дальность	1.Базовая модель задачи о полёте на максимальную дальность. 2. Реализация вышеупомянутого алгоритма в задаче о полёте на максимальную дальность. 3. Нахождение оптимальной траектории и оптимального управления.	
1.3	Задача об успокоении твёрдого тела за минимальное время	1.Базовая модель успокоения вращений трёхосного твёрдого тела.(описание параметров). 2.Построение оптимальной траектории.	
<b>2. Практические занятия</b>			
2.1	Метод малого параметра в задачах оптимального управления	Разложение по степеням малого параметра в ряды функций, применяемых в процессе решения задачи. 2.Решение краевой задачи для системы дифференциальных уравнений, объединяющей фазовые и сопряжённые переменные. 3 Вычисление коэффициентов оптимального управления в первом приближении. 4.Вычисление коэффициентов оптимальной траектории в первом приближении (общий случай)	<u>МКМОУ_01.0</u> 3.02
2.2	Задача о полёте на максимальную дальность	1.Приведение базовой модели к нормальному виду с безразмерными переменными. 2.Вычисление оптимального управления и оптимальной траектории в первом вычислении для исследуемой конкретной задачи.	
2.3	Задача успокоения трёхосного твёрдого тела	1.Система уравнений Эйлера. 2.Общее и частное решение невозмущенной системы. 3.Применение эллиптических функций для решения возмущенной системы	
<b>3. Лабораторные занятия</b>			
3.1	Задача о полёте на максимальную дальность	1.Знакомство с пакетом Математика. 2.Построение оптимального управления	<u>МКМОУ_01.0</u> 3.02

13.2	Задача об успокоении твёрдого тела	1. Построение траекторий невозмущенной системы уравнений Эйлера. (плоский случай) 2. Построение фазовых траекторий в трёхмерном пространстве 3. Исследование графиков решений управляемой системы. 4. Исследование зависимости критерия качества от степени возмущения системы.
------	------------------------------------	--

\* заполняется, если отдельные разделы дисциплины изучаются с помощью онлайн-курса. В колонке Примечание необходимо указать название онлайн-курса или ЭУМК. В других случаях в ячейку ставятся прочерки.

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	
1	Метод малого параметра	8		2		10
2	Задача о полёте на максимальную дальность	12		6		18
3	Задача успокоения твёрдого тела	12		8		20
	Итого:	32		16		48

### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

(рекомендации обучающимся по освоению дисциплины: работа с конспектами лекций, презентационным материалом, выполнение практических заданий, тестов, заданий текущей аттестации и т.д.)

**Подготовка к лекциям.** Знакомство с дисциплиной происходит уже на первой лекции, где от студента требуется не просто внимание, но и самостоятельное оформление конспекта. При работе с конспектом лекций необходимо учитывать тот фактор, что одни лекции дают ответы на конкретные вопросы темы, другие – лишь выявляют взаимосвязи между явлениями, помогая студенту понять глубинные процессы развития изучаемого предмета как в истории, так и в настоящее время.

Конспектирование лекций – сложный вид вузовской аудиторной работы, предполагающий интенсивную умственную деятельность студента. Конспект является полезным тогда, когда записано самое существенное и сделано это самим обучающимся. Не надо стремиться записать дословно всю лекцию. Такое «конспектирование» приносит больше вреда, чем пользы. Целесообразно вначале понять основную мысль, излагаемую лектором, а затем записать ее. Желательно запись осуществлять на одной странице листа или оставляя поля, на которых позднее, при самостоятельной работе с конспектом, можно сделать дополнительные записи, отметить непонятные места.

Конспект лекции лучше подразделять на пункты, соблюдая красную строку. Этому в большой степени будут способствовать вопросы плана лекции, предложенные преподавателям. Следует обращать внимание на акценты, выводы, которые делает лектор, отмечая наиболее важные моменты в лекционном материале замечаниями «важно», «хорошо запомнить» и т.п. Можно делать это и с помощью разноцветных маркеров или ручек, подчеркивая термины и определения.

Целесообразно разработать собственную систему сокращений, аббревиатур и символов. Однако при дальнейшей работе с конспектом символы лучше заменить обычными словами для быстрого зрительного восприятия текста.

Работа над конспектом лекций, всегда необходимо использовать не только учебник, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал лектор. Именно такая серьезная, кропотливая работа с лекционным материалом позволит глубоко овладеть теоретическим материалом.

**Подготовка к практическим занятиям.** Подготовку к каждому практическому занятию студент должен начать с ознакомления с планом практического занятия, который отражает содержание предложенной темы. Тщательное продумывание и изучение вопросов плана основывается на проработке текущего материала лекции, а затем изучения обязательной и дополнительной литературы, рекомендованной к данной теме. Все новые понятия по изучаемой

теме необходимо выучить наизусть и внести в глоссарий, который целесообразно вести с самого начала изучения курса.

Результат такой работы должен проявиться в способности студента свободно ответить на теоретические вопросы практикума, его выступлении и участии в коллективном обсуждении вопросов изучаемой темы, правильном выполнении практических заданий и контрольных работ.

В процессе подготовки к практическим занятиям, студентам необходимо обратить особое внимание на самостоятельное изучение рекомендованной литературы. При всей полноте конспектирования лекции в ней невозможно изложить весь материал из-за лимита аудиторных часов. Поэтому самостоятельная работа с учебниками, учебными пособиями, научной, справочной литературой, материалами периодических изданий и Интернета является наиболее эффективным методом получения дополнительных знаний, позволяет значительно активизировать процесс овладения информацией, способствует более глубокому усвоению изучаемого материала, формирует у студентов свое отношение к конкретной проблеме.

**Рекомендации по работе с литературой.** Работу с литературой целесообразно начать с изучения общих работ по теме, а также учебников и учебных пособий. Далее рекомендуется перейти к анализу монографий и статей, рассматривающих отдельные аспекты проблем, изучаемых в рамках курса, а также официальных материалов и неопубликованных документов (научно-исследовательские работы, диссертации), в которых могут содержаться основные вопросы изучаемой проблемы.

Работу с источниками надо начинать с ознакомительного чтения, т.е. просмотреть текст, выделяя его структурные единицы. При ознакомительном чтении закладками отмечаются те страницы, которые требуют более внимательного изучения.

В зависимости от результатов ознакомительного чтения выбирается дальнейший способ работы с источником. Если для разрешения поставленной задачи требуется изучение некоторых фрагментов текста, то используется метод выборочного чтения. Если в книге нет подробного оглавления, следует обратить внимание ученика на предметные и именные указатели.

Избранные фрагменты или весь текст (если он целиком имеет отношение к теме) требуют вдумчивого, неторопливого чтения с «мысленной проработкой» материала. Такое чтение предполагает выделение: 1) главного в тексте; 2) основных аргументов; 3) выводов. Особое внимание следует обратить на то, вытекает тезис из аргументов или нет.

Необходимо также проанализировать, какие из утверждений автора носят проблематичный, гипотетический характер и уловить скрытые вопросы.

Понятно, что умение таким образом работать с текстом приходит далеко не сразу. Наилучший способ научиться выделять главное в тексте, улавливать проблематичный характер утверждений, давать оценку авторской позиции – это сравнительное чтение, в ходе которого студент знакомится с различными мнениями по одному и тому же вопросу, сравнивает весомость и доказательность аргументов сторон и делает вывод о наибольшей убедительности той или иной позиции.

Если в литературе встречаются разные точки зрения по тому или иному вопросу из-за сложности прошедших событий и правовых явлений, нельзя их отвергать, не разобравшись. При наличии расхождений между авторами необходимо найти рациональное зерно у каждого из них, что позволит глубже усвоить предмет изучения и более критично оценивать изучаемые вопросы. Знакомясь с особыми позициями авторов, нужно определять их схожие суждения, аргументы, выводы, а затем сравнивать их между собой и применять из них ту, которая более убедительна.

Следующим этапом работы с литературными источниками является создание конспектов, фиксирующих основные тезисы и аргументы. Можно делать записи на отдельных листах, которые потом легко систематизировать по отдельным темам изучаемого курса. Другой способ – это ведение тематических тетрадей-конспектов по одной какой-либо теме. Большие специальные работы монографического характера целесообразно конспектировать в отдельных тетрадях. Здесь важно вспомнить, что конспекты пишутся на одной стороне листа, с полями и достаточным для исправления и ремарок межстрочным расстоянием (эти правила соблюдаются для удобства редактирования). Если в конспектах приводятся цитаты, то непременно должно быть дано указание на источник (автор, название, выходные данные, № страницы). Впоследствии эта информация может быть использована при написании текста реферата или другого задания.

При работе с источниками и литературой важно уметь:

- сопоставлять, сравнивать, классифицировать, группировать, систематизировать информацию в соответствии с определенной учебной задачей;
- обобщать полученную информацию, оценивать прослушанное и прочитанное;
- фиксировать основное содержание сообщений; формулировать, устно и письменно, основную идею сообщения; составлять план, формулировать тезисы;
- готовить и презентовать развернутые сообщения типа доклада;
- работать в разных режимах (индивидуально, в паре, в группе), взаимодействуя друг с другом;

- пользоваться реферативными и справочными материалами;
  - контролировать свои действия и действия своих товарищей, объективно оценивать свои действия;
  - обращаться за помощью, дополнительными разъяснениями к преподавателю, другим студентам;
  - пользоваться лингвистической или контекстуальной догадкой, словарями различного характера, различного рода подсказками, опорами в тексте (ключевые слова, структура текста, предваряющая информация и др.);
  - использовать при говорении и письме перифраз, синонимичные средства, слова-описания общих понятий, разъяснения, примеры, толкования, «словотворчество»;
  - повторять или перефразировать реплику собеседника в подтверждении понимания его высказывания или вопроса;
  - обратиться за помощью к собеседнику (уточнить вопрос, переспросить и др.);
- использовать мимику, жесты (вообще и в тех случаях, когда языковых средств не хватает для выражения тех или иных коммуникативных намерений).

**Подготовка к промежуточной аттестации.** При подготовке к промежуточной аттестации целесообразно:

- внимательно изучить перечень вопросов и определить, в каких источниках находятся сведения, необходимые для ответа на них;
- внимательно прочитать рекомендованную литературу;
- составить краткие конспекты ответов (планы ответов).

При использовании дистанционных образовательных технологий и электронного обучения выполнять все указания преподавателей по работе на LMS-платформе, своевременно подключаться к online-занятиям, соблюдать рекомендации по организации самостоятельной работы.

**15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины** (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видовисточников)

**а) основная литература:**

№п/п	Источник
1	Обратные задачи и методы их решения. Приложения к геофизике : учебное пособие / А. Г. Ягола, Я. Ван, И. Э. Степанова, В. Н. Титаренко ; художник Н. А. Новак. — 4-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2021. — 219 с. — ISBN 978-5-93208-555-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/176412">https://e.lanbook.com/book/176412</a>
2	Хацевич, Т. Н. Компьютерные методы проектирования оптических систем : учебник / Т. Н. Хацевич. — Новосибирск : СГУГиТ, 2022. — 156 с. — ISBN 978-5-907513-21-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/317597">https://e.lanbook.com/book/317597</a>

**б) дополнительная литература:**

№п/п	Источник
1	Алюшин, В. М. Методы оптимального управления : учебное пособие / В. М. Алюшин, Л. В. Колобашкина. — Москва : НИЯУ МИФИ, 2020. — 176 с. — ISBN 978-5-7262-2695-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/175406">https://e.lanbook.com/book/175406</a>
2	Эпштейн, Г. Л. Теория оптимального управления : учебное пособие / Г. Л. Эпштейн, А. П. Иванова. — Москва : РУТ (МИИТ), 2020. — 128 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/175959">https://e.lanbook.com/book/175959</a>

**в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:**

№п/п	Ресурс
1.	Электронный каталог Научной библиотеки Воронежского государственного университета. — Режим доступа: <a href="http://www.ru/lib.vsu/ru">http://www.ru/lib.vsu/ru</a>
2.	МКМОУ_01.03.02 / И.Д. Коструб. — Образовательный портал «Электронный университет ВГУ». — Режим доступа: <a href="https://edu.moodle.ru">https://edu.moodle.ru</a> .

\* Вначале указываются ЭБС, с которыми имеются договора у ВГУ, затем открытые электронно-образовательные ресурсы, онлайн-курсы, ЭУМК

## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных), курсовых работ и др.)

№п/п	Источник
1	Коструб И.Д. Метод замороженных коэффициентов : учебное пособие / А. И. Перов, И. Д. Коструб.— Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2018.— 45 с.
2	МКМОУ_01.03.02 / И.Д. Коструб. — Образовательный портал «Электронный университет ВГУ». — Режим доступа: <a href="https://edu.moodle.ru">https://edu.moodle.ru</a> .

## 17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

Дисциплина реализуется с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий. Для организации занятий рекомендован онлайн-курс «МКМОУ\_01.03.02», размещенный на платформе Электронного университета ВГУ (LMS moodle), а также Интернет-ресурсы, приведенные в п.15в.

**18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:** Компьютер преподавателя, мультимедиа оборудование (проектор, средства звуковоспроизведения), доска меловая, специализированная мебель. Windows 10 (лицензионное ПО); LibreOffice (свободное и/или бесплатное ПО); Adobe Reader (свободное и/или бесплатное ПО); Notepad ++ (свободное и/или бесплатное ПО); 7-zip (свободное и/или бесплатное ПО); Mozilla Firefox (свободное и/или бесплатное ПО)

## 19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Метод малого параметра	ПК-4	ПК-4.1. ПК-4.2 ПК-4.3,	Собеседования по темам
2.	Задаче о полёте на максимальную дальность	ПК-4, ПК-5	ПК-4.1. ПК-4.2 ПК-4.3, ПК-5.3	Собеседования по темам контрольная
3	Задача успокоения твёрдого тела	ПК-4, ПК-5	ПК-4.1. ПК-4.2 ПК-4.3, ПК-5.3	Собеседования по темам контрольная
Промежуточная аттестация форма контроля - экзамен				Перечень вопросов см. ниже.

## 20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

### 20.1 Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

#### Перечень вопросов для собеседования

1. Разложение по степеням малого параметра в ряды функций, применяемых в процессе решения задачи.



2. Решение краевой задачи для системы дифференциальных уравнений, объединяющей фазовые и сопряжённые переменные.
3. Вычисление коэффициентов оптимального управления в первом приближении.
4. Вычисление коэффициентов оптимальной траектории в первом приближении (общий случай)
5. Приведение базовой модели к нормальному виду с безразмерными переменными.
6. Вычисление оптимального управления и оптимальной траектории в первом вычислении для исследуемой конкретной задачи.
7. Система уравнений Эйлера.
8. Общее и частное решение невозмущенной системы.
9. Применение эллиптических функций для решения возмущенной системы

#### *Описание технологии проведения*

Средство контроля, организованное как специальная беседа преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п.

#### *Требования к выполнению заданий (или шкалы и критерии оценивания)*

**Оценка «5» (отлично)** выставляется, если обучающийся показывает всесторонние и глубокие знания программного материала, знание основной и дополнительной литературы; последовательно и четко отвечает на вопросы билета и дополнительные вопросы; уверенно ориентируется в проблемных ситуациях; демонстрирует способность применять теоретические знания для анализа практических ситуаций, делать правильные выводы, проявляет творческие способности в понимании, изложении и использовании программного материала; подтверждает полное освоение компетенций, предусмотренных программой.

**Оценка «4» (хорошо)** выставляется, если обучающийся показывает полное знание программного материала, основной и дополнительной литературы; дает полные ответы на теоретические вопросы, допуская некоторые неточности; правильно применяет теоретические положения к оценке практических ситуаций; демонстрирует хороший уровень освоения материала и в целом подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой.

**Оценка «3» (удовлетворительно)** выставляется, если обучающийся показывает знание основного материала в объеме, необходимом для предстоящей профессиональной деятельности; при ответе на вопросы не допускает грубых ошибок, но испытывает затруднения в последовательности их изложения; не в полной мере демонстрирует способность применять теоретические знания для анализа практических ситуаций, подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой на минимально допустимом уровне.

**Оценка «2» (неудовлетворительно)** выставляется, если обучающийся имеет существенные пробелы в знаниях основного учебного материала по разделу; не способен аргументированно и последовательно его излагать, допускает грубые ошибки в ответах, неправильно отвечает на задаваемые преподавателем вопросы или затрудняется с ответом; не подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой.

#### **:Контрольные работы**

1. Вычислить время окончания процесса (аналитически и численно) при заданных характеристиках системы
2. Найти оптимальное управление и оптимальную траекторию в задаче о полёте на максимальную дальность.
3. Найти оптимальное управление и оптимальную траекторию в задаче успокоения твёрдого тела

#### **Перечень заданий для лабораторных работ**

##### **I. Задача о полёте на максимальную дальность**

1. Построение траекторий невозмущенной системы уравнений Эйлера. (плоский случай)
2. Построение фазовых траекторий в трёхмерном пространстве
3. Исследование графиков решений управляемой системы.
4. Исследование зависимости критерия качества от степени возмущения системы.

##### **II. Задача об успокоении твёрдого тела**

1. Построение траекторий невозмущенной системы уравнений Эйлера. (плоский случай)
2. Построение фазовых траекторий в трёхмерном пространстве
3. Исследование графиков решений управляемой системы.
4. Исследование зависимости критерия качества от степени возмущения системы.

### *Описание технологии проведения:*

Текущая аттестация проводится на занятии одновременно во всей учебной группе в виде написания письменной работы. Ограничение по времени на работу — 1 час 35 минут»

### *Требования к выполнению заданий (или шкалы и критерии оценивания)*

**Оценка «отлично»** выставляется, если обучающийся показывает полное знание программного материала; демонстрирует способность применять теоретические знания для анализа практических ситуаций, делать правильные выводы; выполнил все задания и задачи полностью без ошибок и недочетов; строго соблюдает требования при оформлении работы; подтверждает полное освоение компетенций, предусмотренных программой.

**Оценка «хорошо»** выставляется, если обучающийся показывает полное знание программного материала; правильно применяет теоретические положения к оценке практических ситуаций; выполнил все задания и задачи полностью, но при наличии в их решении не более одной негрубой ошибки и одного недочета, не более трех недочетов; строго соблюдает требования при оформлении работы; демонстрирует хороший уровень освоения материала и в целом подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой.

**Оценка «удовлетворительно»** выставляется, если обучающийся показывает знание основного материала в объеме, необходимом для предстоящей профессиональной деятельности; не в полной мере демонстрирует способность применять теоретические знания для анализа практических ситуаций; выполнил не менее 2/3 всех предложенных заданий и задач или допустил не более одной грубой ошибки и двух недочетов, не более одной грубой и одной негрубой ошибки, не более трех негрубых ошибок, одной негрубой ошибки и трех недочетов, при наличии четырех-пяти недочетов; допускает незначительные ошибки при оформлении работы; подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой на минимально допустимом уровне.

**Оценка «неудовлетворительно»** выставляется, если обучающийся имеет существенные пробелы в знаниях основного учебного материала по дисциплине; если число ошибок и недочетов в работе превысило норму для оценки 3 или обучающийся выполнил правильно менее 2/3 всех заданий и задач; допускает грубые ошибки при оформлении работы; не подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой.

## **20.2 Промежуточная аттестация**

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

### **Перечень вопросов к экзамену и порядок формирования КИМ**

1. Назовите четыре пункта, из которых состоит общая постановка задачи.
2. Какими свойствами должны обладать функции в пунктах (1)-(4).
3. Из какого условия находится время окончания процесса.
4. Сформулируйте принцип максимума
5. Какое управление можно назвать допустимым и что есть допустимая фазовая траектория
6. Какое управление и какая фазовая траектория называются оптимальными.
7. Какие системы дифференциальных уравнений называются слабоуправляемыми
8. На каких идеях анализа основывается метод малого параметра
9. В каких пунктах приведенного алгоритма используется условие трансверсальности

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний и практическое задание, позволяющее оценить степень сформированности умений и навыков.

**Описание технологии проведения.** Средство контроля, организованное как специальная беседа преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п.

### **Требования к выполнению заданий (или шкалы и критерии оценивания)**

Для оценивания результатов обучения на экзамене используются следующие показатели:

- 1) знание основных определений, примеров и формулировок теорем;
- 2) умение связывать теорию с практикой;
- 3) умение решать задачи вычислительного характера;

4) умение обосновывать (доказывать) основные факты теории.

Для оценивания результатов обучения на экзамене (зачете с оценкой) используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
<i>Полное соответствие ответа обучающегося на контрольно-измерительный материал всем перечисленным критериям</i>	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>
<i>Ответ на контрольно-измерительный материал соответствует первым трем критериям.</i>	<i>Базовый уровень</i>	<i>Хорошо</i>
<i>Ответ обучающегося на контрольно-измерительный материал соответствует первым двум критериям.</i>	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Удовлетворительно</i>
<i>Ответ не соответствует первым двум критериям.</i>	<i>–</i>	<i>Неудовлетворительно</i>

### 20.3 Фонд оценочных средств сформированности компетенций студентов, рекомендуемый для проведения диагностических работ

ПК-4 Способен использовать современные математические и компьютерные методы в задачах анализа динамических систем, оптимизации и оптимального управления

#### Вопросы с вариантами ответов

1. Методы оптимизации подразделяются на:

- а) Аналитические.
- б) Численные.
- в) Приближенные.
- г) Аналитические и численные (приближенные).

Ответ: г)

2. Дайте классификацию численных методов оптимизации.

- а) Существует классификация методов оптимизации по наличию информации о производных функции: методы нулевого, первого и второго порядка.
- б) Существует классификация методов оптимизации по наличию информации о второй производной функции.
- в) Существует классификация методов оптимизации по наличию информации о функции.

Ответ: а)

3. Методы нулевого порядка используют в процессе оптимизации:

- а) Все методы нулевого порядка используют в процессе оптимизации значения производных первого, второго или  $n$ -го порядков.
- б) Все методы нулевого порядка используют в процессе оптимизации только значения функции в области значений и значения аргумента в области определения; они не используют значения производных первого, второго или  $n$ -го порядков.
- в) Все методы нулевого порядка используют в процессе оптимизации значения производных первого порядка.
- г) Все методы нулевого порядка используют в процессе оптимизации значения производных первого, второго порядков.

Ответ: б)

4. Накладывает ли на функцию какие-то требования применение методов нулевого порядка?

- а) Никаких требований не предъявляется.
- б) От функции требуется удовлетворение определенным условиям: унимодальность непрерывной выпуклой функции для метода дихотомии или метода деления отрезка области определения в отношении «золотого сечения».
- в) Возможно, что функция удовлетворяет каким-то условиям, но это не обязательное требование.

Ответ: б)

5. По каким принципам разделяются на подклассы методы одномерной оптимизации?

- а) Использование в процессе поиска экстремума информации о самой функции, так как в ряде задач целевая функция задана таким образом, что точных значений производных найти нельзя (только оценить).
- б) Использование в процессе поиска экстремума информации о самой функции или ее производных.
- в) По виду целевой функции (методы решения одно- и многоэкстремальных задач).

Ответ: а), б), в)

6. Методы одномерной оптимизации без использования информации о производной функции – это методы:

- а) Методы последовательного поиска (методы интервалов). Метод дихотомии.
- б) Метод золотого сечения. Метод Фибоначчи.

в) Методы последовательного поиска (методы интервалов). Метод дихотомии. Метод деления пополам. Метод золотого сечения. Метод Фибоначчи.

г) Методы последовательного поиска (методы интервалов). Метод деления пополам. Метод золотого сечения.

Ответ: в)

7. Накладывает ли на функцию какие-то требования применение методов первого порядка?

а) Никаких требований не предъявляется.

б) Методы первого порядка (градиентные) используют информацию о направлении спуска к минимуму по антиградиенту, не настраивая при этом величину шага.

в) Методы первого порядка (градиентные) требуют существования первой производной оптимизируемой функции для аналитического вида оптимизируемой функции или численном приближённом виде для конечных разностей.

Ответ: б) в)

#### **Вопросы с кратким текстовым ответом**

1. Какую задачу называют задачей математического программирования?

Ответ: Если целевая функция единственная, то задачу конечномерной оптимизации называют задачей математического программирования, а в противном случае — задачей многокритериальной (векторной) оптимизации.

2. В чем разница между задачей линейного и нелинейного программирования?

Ответ: Задача условной оптимизации, в которой все функции линейны, называется задачей линейного программирования. Задачи с нелинейной целевой функцией называются задачами нелинейного программирования.

3. Методы численного решения задач многомерной безусловной минимизации условно можно разделить на три больших класса в зависимости от информации, используемой при реализации метода. Дайте характеристику методам нулевого, первого и второго порядка.

Ответ: Методы нулевого порядка, или прямого поиска, стратегия которых основана на использовании информации только о свойствах целевой функции. Методы первого порядка, в которых при построении итерационной процедуры наряду с информацией о целевой функции используется информация о значениях первых производных этой функции. Методы

второго порядка, в которых наряду с информацией о значениях целевой функции и ее производных первого порядка используется информация о вторых производных функции.

ПК-5 Способен разрабатывать и адаптировать алгоритмические и программные решения для задач анализа динамических систем, оптимизации и оптимального управления

### Вопросы с вариантами ответов

1. Математическая модель для задачи оптимального управления – это:

- а) формулировка цели управления, выраженная через критерий качества управления; определение дифференциальных или разностных уравнений, описывающих возможные способы движения объекта управления; определение ограничений на используемые ресурсы в виде уравнений или неравенств.
- б) определение дифференциальных или разностных уравнений, описывающих возможные способы движения объекта управления.
- в) определение ограничений на используемые ресурсы в виде уравнений или неравенств.

Ответ: а)

2. Оптимальное управление – это:

- а) задача проектирования системы, обеспечивающей для заданного объекта управления или процесса закон управления или управляющую последовательность воздействий, обеспечивающих максимум или минимум заданной совокупности критериев качества системы.
- б) задача, обеспечивающая закон управления или управляющую последовательность воздействий, минимум заданной совокупности критериев качества системы;
- в) задача, обеспечивающая закон управления или управляющую последовательность воздействий, максимум заданной совокупности критериев качества системы.

Ответ: а)

3. Что включает в себя задача оптимального управления?

- а) Задача оптимального управления включает в себя синтез системы оптимального управления.
- б) Задача оптимального управления включает в себя расчет оптимальной программы управления.
- в) Задача оптимального управления включает в себя расчет оптимальной программы управления и синтез системы оптимального управления.

Ответ: в)

4. За счет чего достигается требуемое изменение неуправляемых степеней свободы в механических колебательных системах с дефицитом управления?

- а) Требуемое изменение неуправляемых степеней свободы достигается за счет изменения степеней свободы.
- б) Требуемое изменение неуправляемых степеней свободы достигается за счет изменения координат.
- в) Требуемое изменение неуправляемых степеней свободы достигается за счет подходящего управления по другим степеням свободы.

Ответ: в)

5. Как рассчитываются оптимальные программы управления?

- а) Оптимальные программы управления, как правило, рассчитываются численными методами решения краевой задачи для системы дифференциальных уравнений.
- б) Оптимальные программы управления, как правило, рассчитываются численными методами нахождения экстремума функционала или решения краевой задачи для системы дифференциальных уравнений.
- в) Оптимальные программы управления, как правило, рассчитываются численными методами нахождения экстремума функционала.

Ответ: б)

6. К чему приводит непосредственное применение формализма принципа максимума Понтрягина при исследовании проблемы оптимального управления колебаниями для механических систем?

- а) Непосредственное применение формализма принципа максимума Понтрягина часто приводит к системе обыкновенных дифференциальных уравнений удвоенного порядка.
- б) Непосредственное применение формализма принципа максимума Понтрягина часто приводит к системе обыкновенных дифференциальных уравнений.
- в) Непосредственное применение формализма принципа максимума Понтрягина часто приводит к системе дифференциальных уравнений в частных производных.
- г) Непосредственное применение формализма принципа максимума Понтрягина часто приводит к системе дифференциальных уравнений в частных производных удвоенного порядка.

Ответ: а)

7. Можно ли рассматривать все задачи оптимального управления как задачи математического программирования и в таком виде решать их численными методами?

- а) Да можно.
- б) Нельзя.

Ответ: а)

8. В рамках чего ставится и исследуется проблема оптимального управления колебаниями для механических систем?

а) Часто проблема оптимального управления колебаниями для механических систем ставится и исследуется в рамках метода Лагранжа.

б) Часто проблема оптимального управления колебаниями для механических систем ставится и исследуется в рамках принципа максимума Л.С.

Понтрягина.

в) Часто проблема оптимального управления колебаниями для механических систем ставится и исследуется в рамках метода Д.Е. Охоцимского.

Ответ: б)

9. Какие методы применяются при проектировании систем управления детерминированными объектами с сосредоточенными параметрами, описываемыми обыкновенными дифференциальными уравнениями?

а) Наиболее широко при проектировании систем управления детерминированными объектами с сосредоточенными параметрами, описываемыми обыкновенными дифференциальными уравнениями, применяется принцип максимума Понтрягина.

б) Наиболее широко при проектировании систем управления детерминированными объектами с сосредоточенными параметрами, описываемыми обыкновенными дифференциальными уравнениями, применяются следующие методы: вариационное исчисление, принцип максимума Понтрягина, динамическое программирование Беллмана.

в) Наиболее широко при проектировании систем управления детерминированными объектами с сосредоточенными параметрами, описываемыми обыкновенными дифференциальными уравнениями, применяется вариационное исчисление.

г) Наиболее широко при проектировании систем управления детерминированными объектами с сосредоточенными параметрами, описываемыми обыкновенными дифференциальными уравнениями, применяются: вариационное исчисление, принцип максимума Понтрягина.

Ответ: б)

10. Что входит в уравнения движения механических систем?

а) Производные управляемых степеней свободы могут входить в уравнения движения таких систем.

б) Координаты управляемых степеней свободы.

в) Координаты управляемых степеней свободы могут входить в уравнения движения таких систем вместе со своими производными.

Ответ: в)

11. Обучающая система – это:



- а) Система оптимального управления, способная накапливать опыт и улучшать на этой основе свою работу.
- б) Система оптимального управления, способная накапливать опыт на этой основе свою работу.
- в) Система в условиях конфликта или неопределенности.

Ответ: а)

12. Для решения задач оптимального управления в условиях конфликта или неопределенности используется:

- а) Теория автоматического управления.
- б) Теория дифференциальных игр.
- в) Теория графов.

Ответ: б)

13. Какие траектории дает принцип максимума?

- а) Принцип максимума дает оптимальные траектории.
- б) Принцип максимума дает траектории лишь "подозрительные" на оптимальность.

Ответ: б)

#### **Вопросы с кратким текстовым ответом**

1. Дайте определение понятия «Оптимальное управление» ?

Ответ: Оптимальное управление — это задача проектирования системы, обеспечивающей для заданного объекта управления или процесса закон управления или управляющую последовательность воздействий, обеспечивающих максимум или минимум заданной совокупности критериев качества системы.

2. Что включает в себя математическая модель для задачи оптимального управления?

Ответ: Математическая модель для задачи оптимального управления включает в себя: формулировку цели управления, выраженную через критерий качества управления; определение дифференциальных или разностных уравнений, описывающих возможные способы движения объекта управления; определение ограничений на используемые ресурсы в виде уравнений или неравенств.

3. Как Вы определите механические колебательные системы с дефицитом управления?

Ответ: Механические колебательные системы с дефицитом управления – это системы, которые содержат степени свободы, для которых непосредственное

активное управление нереализуемо, но может осуществляться опосредованно за счет перекрестного влияния других активно управляемых степеней свободы.

4. Сформулируйте принцип оптимальности Беллмана.

Ответ: Метод динамического программирования основан на принципе оптимальности Беллмана, который формулируется следующим образом: оптимальная стратегия управления обладает тем свойством, что каково бы ни было начальное состояние и управление в начале процесса, последующие управления должны составлять оптимальную стратегию управления относительно состояния, полученного после начальной стадии.

5. Где особенно важен принцип максимума?

Ответ: Принцип максимума особенно важен в системах управления с максимальным быстродействием и минимальным расходом энергии, где применяются управления релейного типа, принимающие крайние, а не промежуточные значения на допустимом интервале управления.

*Описание технологии проведения:*

Текущая аттестация проводится на занятии одновременно во всей учебной группе в виде теста в электронной образовательной среде «Электронный университет ВГУ». Большая часть вопросов проверяется автоматически, проверки преподавателем с ручным оцениванием требуют только отдельные вопросы, представленные в форме эссе. Ограничение по времени на каждую попытку — 1 час 30 минут

*Критерии и шкалы оценивания заданий ФОС:*

Для оценивания выполнения заданий используется балльная шкала:

1) закрытые задания (тестовые с вариантами ответов, средний уровень сложности) :

1 балл – указан верный ответ;

0 баллов – указан неверный ответ (полностью или частично неверный).

2) открытые задания (тестовые с кратким текстовым ответом, повышенный уровень)

2 балла – указан верный ответ;

0 баллов – указан неверный ответ (полностью или частично неверный).

**Задания раздела 20.3 рекомендуются к использованию при проведении диагностических работ с целью оценки остаточных результатов освоения данной дисциплины (знаний, умений, навыков).**