

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета _____ Гусев П.Ю.
«31» августа 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины
« Модели оптимального управления »

Направление подготовки 09.06.01 Информатика и вычислительная техника

**Направленность 05.13.18 Математическое моделирование, численные
методы и комплексы программ**

Квалификация выпускника Исследователь. Преподаватель-исследователь

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2021

Автор программы

 / Батаронов И.Л./

Заведующий кафедрой
Высшей математики и
физико-математического
моделирования

 / Батаронов И.Л./

Руководитель ОПОП

 / Батаронов И.Л./

Воронеж 2021

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

Цель изучения дисциплины состоит в изучении и практическом освоении методологии математического моделирования, выбора численных методов решения моделей оптимального управления в рамках выбранной области исследования.

1.2. Задачи освоения дисциплины

Задачи освоения дисциплины состоят в следующем:

- сформировать у обучаемых целостную методологию математического моделирования объектов из области исследования;
- освоить методологию выбора численных методов решения моделей оптимального управления в рамках области исследования;
- освоить методику построения и анализа моделей оптимального управления в области исследования.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Модели оптимального управления» относится к дисциплинам вариативной части блока Б1 учебного плана.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Модели оптимального управления» направлен на формирование следующих компетенций:

УК-2 – способностью проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки

ОПК-4 – готовностью организовать работу исследовательского коллектива в области профессиональной деятельности

ПК-4 – владением современными технологиями подготовки, оформления и сопровождения научной продукции

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
УК-2	<i>знать основные модели оптимального управления</i>
	<i>уметь применять модели оптимального управления в</i>

	<i>междисциплинарных исследованиях</i>
	<i>владеть методами построения моделей оптимального управления</i>
ОПК-4	<i>знать основные правила организации оптимальной работы исследовательского коллектива</i>
	<i>уметь применять методы оптимального управления работой исследовательского коллектива</i>
	<i>владеть методами организации оптимальной работы исследовательского коллектива</i>
ПК-4	<i>знать основные требования к оформлению научной продукции</i>
	<i>уметь применять методы оптимизации для подготовки, оформления и сопровождения научной продукции</i>
	<i>владеть современными технологиями подготовки, оформления и сопровождения научной продукции</i>

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Модели оптимального управления» составляет 4 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		4
Аудиторные занятия (всего)	36	36
В том числе:		
Лекции	36	36
Практические занятия (ПЗ)	—	—
Самостоятельная работа	108	108
Виды промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	144	144
зач.ед.	4	4

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	СРС	Всего, час
1	Основные методы оптимального управления	Принцип максимума Понтрягина. Метод динамического программирования. Вариационная задача оптимального управления. Связь методов оптимального управления.	9		27	36
2	Аналитическая механика и теория оптимального	Принцип Гамильтона в задачах оптимального управления. Методы аналитической механики в оптимизации процессов управления. Уравнение	9		27	36

	управления	Гамильтона–Якоби–Беллмана в задачах оптимального управления. Минимаксный принцип механики в задачах оптимального управления.				
3	Вариационные задачи теории оптимального управления	О вариационных задачах управления движением. Оптимальное гашение колебаний. Вариационная задача Майера–Больца оптимизации процессов управления. Необходимые условия оптимизации в вариационных задачах управления.	9		27	36
4	Задачи оптимального управления с интегральными и интегродифференциальными уравнениями	Оптимальное управление регулярными интегральными системами. Оптимальное управление сингулярными интегральными системами. Оптимальное управление интегродифференциальными системами	9		27	36
Итого			36		108	144

Практическая подготовка при освоении дисциплины проводится путем непосредственного выполнения обучающимися отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью, способствующих формированию, закреплению и развитию практических навыков и компетенций по профилю соответствующей образовательной программы на лекционных занятиях.

№ п/п	Семестр	Перечень выполняемых обучающимся отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью	Формируемые профессиональные компетенции
1	4	Разработка и анализ модели оптимального управления объектом исследования	ПК-4

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА РЕФЕРАТОВ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение реферата.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
УК-2	знать основные модели оптимального управления	Активная работа на лекционных	Выполнение работ в срок,	Невыполнение работ в срок,

		занятиях, отвечает на теоретические вопросы	предусмотренный в рабочих программах	предусмотренный в рабочих программах
	<i>уметь применять модели оптимального управления в междисциплинарных исследованиях</i>	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<i>владеть методами построения моделей оптимального управления</i>	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ОПК-4	<i>знать основные правила организации оптимальной работы исследовательского коллектива</i>	Активная работа на лекционных занятиях, отвечает на теоретические вопросы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<i>уметь применять методы оптимального управления работой исследовательского коллектива</i>	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<i>владеть методами организации оптимальной работы исследовательского коллектива</i>	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-4	<i>знать основные требования к оформлению научной продукции</i>	Активная работа на лекционных занятиях, отвечает на теоретические вопросы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<i>уметь применять методы оптимизации для подготовки, оформления и сопровождения научной продукции</i>	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<i>владеть современными технологиями подготовки, оформления и сопровождения научной продукции</i>	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 4 семестре для очной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
УК-2	<i>знать основные модели оптимального управления</i>	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	<i>уметь применять модели оптимального управления в междисциплинарных исследованиях</i>	Решение стандартных практических задач	Выполнение индивидуального практического задания в области исследования	Невыполнение индивидуального практического задания в области исследования

	<i>владеть методами построения моделей оптимального управления</i>	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение индивидуальной прикладной задачи в области исследования	Невыполнение индивидуальной прикладной задачи в области исследования
ОПК-4	<i>знать основные правила организации оптимальной работы исследовательского коллектива</i>	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	<i>уметь применять методы оптимального управления работой исследовательского коллектива</i>	Решение стандартных практических задач	Выполнение индивидуального практического задания в области исследования	Невыполнение индивидуального практического задания в области исследования
	<i>владеть методами организации оптимальной работы исследовательского коллектива</i>	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение индивидуальной прикладной задачи в области исследования	Невыполнение индивидуальной прикладной задачи в области исследования
ПК-4	<i>знать основные требования к оформлению научной продукции</i>	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	<i>уметь применять методы оптимизации для подготовки, оформления и сопровождения научной продукции</i>	Решение стандартных практических задач	Выполнение индивидуального практического задания в области исследования	Невыполнение индивидуального практического задания в области исследования
	<i>владеть современными технологиями подготовки, оформления и сопровождения научной продукции</i>	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение индивидуальной прикладной задачи в области исследования	Невыполнение индивидуальной прикладной задачи в области исследования

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

Не предусмотрено методикой оценки.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Для заданного функционала и граничных условий найти экстремаль.
2. Для данной модели объекта управления и критерия качества найти оптимальное управление.
3. В чем выражается принцип освобождаемости от связей.
4. Для заданной динамической системы найти сопряженные переменные.
5. Для заданной динамической системы записать условие минимакса.
6. Для заданной динамической системы записать условие Вейерштрасса-Эрдмана.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Найти семейство экстремалей заданного функционала.
2. Для данной модели объекта управления и критерия качества найти оптимальную траекторию управления.
3. Сформулировать принцип максимума для автономных систем управления.
4. Для заданной динамической системы построить функционал Больца.
5. Для заданной динамической системы построить штрафной функционал.
6. Для заданной динамической системы построить функцию Вейерштрасса.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

- Принцип максимума Понтрягина.
- Метод динамического программирования.
- Вариационная задача оптимального управления.
- Связь методов оптимального управления.
- Принцип Гамильтона в задачах оптимального управления.
- Методы аналитической механики в оптимизации процессов управления.
- Уравнение Гамильтона–Якоби–Беллмана в задачах оптимального управления.
- Минимаксный принцип механики в задачах оптимального управления.
- О вариационных задачах управления движением.
- Оптимальное гашение колебаний.
- Вариационная задача Майера–Больца оптимизации процессов управления.
- Необходимые условия оптимизации в вариационных задачах управления.
- Оптимальное управление регулярными интегральными системами.
- Оптимальное управление сингулярными интегральными системами.
- Оптимальное управление интегродифференциальными системами.

7.2.5 Примерный перечень вопросов для экзамена

Не предусмотрено учебным планом

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачет проводится по аттестационным заданиям, каждое из которых содержит 1 вопрос и 3 задачи. Правильный ответ на вопрос оценивается 5 баллов, каждая задача оценивается в 5 баллов. Максимальное количество

набранных баллов – 20.

1. Не зачтено ставится в случае, если студент набрал менее 10 баллов.
2. Зачтено ставится в случае, если студент набрал от 10 до 20 баллов

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Основные методы оптимального управления	УК-2, ОПК-4, ПК-4	Тест, зачет, устный опрос
2	Аналитическая механика и теория оптимального управления	УК-2, ОПК-4, ПК-4	Тест, зачет, устный опрос
3	Вариационные задачи теории оптимального управления	УК-2, ОПК-4, ПК-4	Тест, зачет, устный опрос
4	Задачи оптимального управления с интегральными и интегродифференциальными уравнениями	УК-2, ОПК-4, ПК-4	Тест, зачет, устный опрос

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время выполнения 30 мин. Затем осуществляется проверка ответов экзаменатором и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Ванько, Вячеслав Иванович. Вариационное исчисление и

оптимальное управление: учебник / Ванько Вячеслав Иванович, Ергошина Олеся Владимировна, Кувыркин Георгий Николаевич ; под ред. В. С. Зарубина, А. П. Крищенко. - 2-е изд. - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. - 487 с.

2. Лагоша, Борис Александрович. Оптимальное управление в экономике: Учеб. пособие / Лагоша Борис Александрович. - М.: Финансы и статистика, 2003. - 191 с.

3. Васильев, Олег Владимирович. Методы оптимизации и их приложения. Ч. 2. Оптимальное управление / Васильев Олег Владимирович, Срочко Владимир Андреевич, Терлецкий Виктор Анатольевич; отв. ред. А. П. Меренков; Сиб. энергет. ин-т АН СССР. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990 (Новосибирск: 4-я тип. изд-ва "Наука", 1990). - 149 с.

2. Осипова, Н. В. Математическое моделирование объектов и систем управления: учебно-методическое пособие / Н. В. Осипова. – Москва: Издательский Дом МИСиС, 2019. – 39 с. – Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/98194.html>.

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

ПО: windows, open office, Acrobat reader

Для выполнения домашних заданий рекомендуется использовать Mathstudio

Современная профессиональная база данных Mathnet.ru, e-library.ru

Информационные справочные системы dist.sernam.ru, Wikipedia

<http://eios.vorstu.ru/>

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

9.1. **Лекции:** специализированное помещение для проведения лекций

9.2. **Практические занятия:** не предусмотрено учебным планом

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Модели оптимального управления» читаются лекции, проводятся самостоятельные занятия.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Самостоятельные занятия направлены на приобретение практических навыков построения и анализа моделей оптимального управления. Занятия проводятся путем решения конкретных задач на индивидуальных компьютерах или в классе для самостоятельной работы.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоения учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.