

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



УТВЕРЖДАЮ:

Первый проректор

А.А. Каракозов

(подпись)

31 » 03 20 23 года

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.ДЭ.01.02 Оптимальные системы управления**

(код и наименование дисциплины согласно учебному плану)

Направление подготовки

27.04.04 Управление в технических системах

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность (профиль)

«Управление и информатика в технических  
системах»

(наименование профиля / магистерской программы / специализации)

Программа:

магистратура

(бакалавриат, магистратура, специалитет)

Форма обучения:

очная, очно-заочная

(очная, заочная, очно-заочная)

Форма обучения	очная	очно-заочная
Семестр(ы)	3	4
Общая трудоёмкость в з.е./часах	5/180	5/180
Контактная работа (час.), в том числе:	89	22
лекции (час.)	34	8
лабораторные работы (час.)	51	8
практические (семинарские) занятия (час.)	0	0
Самостоятельная работа (час.), в том числе:	37	122
курсовой проект (работа) (семестр/час.)	0	0
Контроль (экзамен, час./зачёт)	экзамен, 54	экзамен, 36

Донецк, 2023 г.

Рабочая программа дисциплины «Оптимальные системы управления» составлена в соответствии с учебным планом по направлению подготовки 27.04.04 «Управление в технических системах» (направленность (профиль) - «Управление и информатика в технических системах») для 2023 года приёма по очной и очно-заочной формам обучения.

Составитель:

доцент кафедры «Автоматика

и телекоммуникации», к.т.н., доцент

  
(подпись)

Волуева О.С.

Рабочая программа **рассмотрена и принята** на заседании кафедры «Автоматика и телекоммуникации».

Протокол от «29» 03 20 23 года № 4

Заведующий кафедрой

  
(подпись)

Турупалов В.В.

(Ф.И.О.)

Рабочая программа **одобрена учебно-методической комиссией** ГОУВПО «ДОННТУ» по направлению подготовки 27.04.04 «Управление в технических системах».

Протокол от «29» 03 20 23 года № 4

Председатель

  
(подпись)

Суков С.Ф.

(Ф.И.О.)

Рабочая программа **продлена** для 20\_\_ года приёма на заседании кафедры «Автоматика и телекоммуникации».

Протокол от «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ года № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)

Рабочая программа **продлена** для 20\_\_ года приёма на заседании кафедры «Автоматика и телекоммуникации».

Протокол от «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ года № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)

Рабочая программа **продлена** для 20\_\_ года приёма на заседании кафедры «Автоматика и телекоммуникации».

Протокол от «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ года № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)

## 1 ОБЪЕКТ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина рассматривает методы синтеза оптимального управления в технических системах с учетом условий, которые ограничивают управление объектами, целевые критерии, основные классы и методы синтеза оптимальных регуляторов и адаптивных систем управления.

Цель дисциплины – ознакомить студентов и способствовать приобретению ими навыков синтеза оптимального управления и оптимальных регуляторов, а также расчета и моделирования оптимальных и адаптивных систем управления для использования в научной, исследовательской и производственной деятельности, которая связана с эксплуатацией, настройкой и разработкой систем и устройств управления данного класса.

Задачи дисциплины – донести до сведения студентов наглядные методики выбора и формализации критериев оптимальности систем автоматического управления, методы расчета оптимального управления, базирующиеся на теории вариационного исчисления, а также на принципе максимума Л.С.Понтрягина и принципе оптимальности Беллмана. В задачи дисциплины входит также изложение методики аналитического конструирования оптимальных регуляторов и принципов адаптации.

В результате освоения дисциплины студент должен

*знать:* теоретические методы решения задач поиска экстремума функционалов, в том числе при наличии ограничений, метод Гаусса-Зайделя, градиентные методы, симплексный метод, методы на основе генетических алгоритмов, вариационное исчисление, принцип максимума Понтрягина, метод динамического программирования, методы линейного программирования, модели транспортных задач, аналитическое конструирование регуляторов по принципу максимума, принципы адаптации и самонастройки систем со стабилизацией критериев качества, методы решения задач по оптимальному управлению.

*уметь:* выбирать и формулировать целевую функцию (функционал) при проектировании систем автоматического управления и обоснованно выбирать соответствующий эффективный метод решения задачи оптимизации, выполнять синтез оптимальных систем управления при помощи методов динамического программирования и максимума Л.С.Понтрягина, учитывать при решении задач различные ограничения и дополнительные условия, использовать для решения задач поиска экстремума функционала современные пакеты программ, выполнять синтез оптимальных систем управления при помощи процедур аналитического конструирования регуляторов (АКОР), используя теорию пространства состояний и характеристик объекта управления в условиях компьютеризированного рабочего места.

*владеть:* навыками формализации постановки задачи оптимизации в виде целевой функции и ограничений, методами и средствами решения оптимизационных задач, навыками применения современных информационных технологий при оптимизации технологических процессов и управления.

Перечисленные результаты обучения являются основой для формирования

следующих компетенций:

- способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий (**УК-1**);
- способен применять современные теоретические и экспериментальные методы разработки математических моделей исследуемых объектов и процессов, относящихся к профессиональной деятельности (**ПК-1**);
- способен выбирать методы и разрабатывать алгоритмы решения задач управления в технических системах (**ПК-3**);
- способен использовать современные технологии обработки информации, современные технические средства управления, вычислительную технику, технологии компьютерных сетей и телекоммуникаций при проектировании систем автоматизации и управления (**ПК-5**).

## **2 МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЕ**

Дисциплина относится части, формируемой участниками образовательных отношений, Блока 1 дисциплин (модулей) учебного плана.

Базируется на знаниях, умениях и навыках, которые студент приобрел при освоении предшествующих дисциплин: «Автоматизированное проектирование средств и систем управления», «Математическое моделирование средств и систем управления», «Современные проблемы теории управления».

Знания и умения, приобретенные при освоении данной дисциплины, реализуются студентом при прохождении производственной практики и государственной итоговой аттестации.

## **3 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **3.1 Распределение учебных часов по темам дисциплины и видам занятий**

Наименование тем (содержательных модулей)	Количество часов (очная/очно-заочная)				
	Всего	В том числе			
		Лекции	Лабор.	Практ. (Семина)	СР
Тема 1. Введение в оптимальные системы управления. Понятия «оптимизация». Общая характеристика методов оптимизации.	9/9	4/0	4/0	0	1/9
Тема 2. Вариационная задача с фиксированными и подвижными граничными точками. Частные случаи интегрируемости уравнения Эйлера	24/26	10/2	10/2	0	4/22
Тема 3. Синтез оптимального управления методом вариационного исчисления	24/26	4/2	8/2	0	8/22



Наименование тем (содержательных модулей)	Количество часов (очная/очно-заочная)				
	Всего	В том числе			
		Лекции	Лабор.	Практ. (Семина)	СР
ния. Примеры решения задач					
Тема 4. Принцип максимума Л.С.Понтрягина	20/26	4/2	12/4	0	8/22
Тема 5. Принцип оптимальности Белл- мана. Синтез оптимального регулятора	28/30	4/2	10/0	0	12/24
Тема 6. Аналитическое конструирова- ние оптимальных регуляторов	18/24	4/0	7/0	0	4/22
Тема 7. Математические методы адап- тации и адаптивные системы управле- ния	8/7	4/0	0/0	0	4/7
Контактная работа (дополнительная)	4/6				
Курсовой проект/курсовая работа	0				0
Итого по видам занятий	118/138	34/8	51/8	0	59/122
Контроль	54/36				
<b>ИТОГО:</b>	<b>180</b>				

### Формирование компетенций в результате освоения тем дисциплины

Компетенции	Темы дисциплины, нацеленные на выработку компетенции
УК-1	Тема 1,2,3,7
ПК-1	Тема 3,4,5,6
ПК-2	Тема 2,3,4,5,6
ПК-3	Тема 2,4,5,6,7

### 3.2 Лекции

Тема 1 . Введение в Оптимальные системы управления. Понятия «оптимизация». Общая характеристика методов оптимизации.

Содержание темы 1: Предмет и задание курса «Оптимальные системы управления». Роль отечественной науки в развитии математических методов оптимизации. Оптимизация и адаптация как основа повышения эффективности управления и производства во всех отраслях промышленности. Постановка задачи безусловной оптимизации. Классический метод определения оптимальных значений параметров. Классификация приближенных методов оптимизации. Методы последовательного поиска: дихотомии, Фибоначчи, золотого сечения.

Литература к теме 1: [1,2,3]

Тема 2. Вариационная задача с фиксированными и подвижными граничными точками. Частные случаи интегрируемости уравнения Эйлера

Содержание темы 2: Терминология и обозначения. Функционал, понятия про вариационную функцию, вариации функционала. Первая и вторая производные функционала. Дифференциальные уравнения Эйлера-Лагранжа. Условия существования экстремума функционала. Уравнения Эйлера-Лагранжа в случае, когда функционал зависит от вектор – функции скалярного аргумента и в случае, когда функционал зависит от старших производных аргументной функции. Частные случаи интегрируемости уравнения Эйлера

Литература к теме 3: [\[1,2,3\]](#)

Тема 3. Синтез оптимального управления методом вариационного исчисления.

Содержание темы 3 Общая формула первой производной функционала для задачи с движущимися граничными точками. Условия Вейерштрасса-Эрдмана. Условия трансверсальности. Вариационные задачи с условным экстремумом. Синтез оптимального управления динамической системой на основе решения вариационной задачи с условным экстремумом. Примеры решения задач

Литература к теме 4: [\[1,2,3\]](#)

Тема 4. Принцип максимума Л.С.Понтрягина

Содержание темы 4 Каноническая форма дифференциальных уравнений в форме Гамильтона

Принцип максимума Понтрягина. Понятия про разрывные функции и игольчатую вариацию. Сущность принципа максимума Понтрягина. Геометрическая интерпретация принципа максимума Понтрягина. Практическое использование принципа максимума для определения оптимальных по быстродействию разомкнутых и замкнутых автоматических систем.

Литература к теме 5: [\[1,2,3\]](#)

Тема 5. Принцип оптимальности Беллмана. Синтез оптимального регулятора

Содержание темы 5 Метод динамического программирования Общие сведения про метод динамического программирования. Принцип оптимальности Беллмана. Решения задачи оптимального управления на основе метода динамического программирования для непрерывных и дискретных систем управления. Уравнение Беллмана для задачи оптимального быстродействия.

Литература к теме 6: [\[1,2,3\]](#)

Тема 6. Аналитическое конструирование оптимальных регуляторов

Содержание темы 6 Постановка задачи АКОР. Задача аналитического конструирования линейного регулятора. Аналитическое конструирование оптимальных регуляторов методом динамического программирования. АКОР на основе принципа максимума Понтрягина

Литература к теме 7: [\[1,2,3\]](#)

Тема 7. Математические методы адаптации и адаптивные системы управления.

Содержание темы 7 Общие понятия про адаптивные системы управления и классификации адаптивных систем. Функциональные схемы и принципы работы адаптивных систем управления. Принципы построения адаптивных систем. Принципы адаптации и самонастройка систем с стабилизацией критериев качества

Литература к теме 8: [\[1,2,3\]](#)

### 3.3 Практические (семинарские) занятия

В учебном плане не запланировано.

### 3.4 Лабораторные работы

№ п/п	Тема работы	Объем, час. очн/очно- заочн	Литера- тура
1	Параметрически оптимизируемые регуляторы	4/-	<a href="#">[7,9]</a>
2	Решение уравнения Эйлера средствами прикладного пакета программ	4/2	<a href="#">[7,9]</a>
3	Исследование экстремали функционала нескольких функций	3/-	<a href="#">[7,9]</a>
4	Расчет оптимального управления объектом путем решения задачи поиска условного экстремума функционала	4/2	<a href="#">[7,9]</a>
5	Расчет оптимального управления на основе принципа максимума Л.С.Понтрягина	8/-	<a href="#">[7,9]</a>
6	Оптимальное по быстродействию управление объектом при ограничениях на скорость объекта и величину управления	8/4	<a href="#">[7,9]</a>
7	Расчет оптимального управления объектом на основании принципа оптимальности Беллмана	6/0	<a href="#">[7,9]</a>
8	Синтез оптимального управления дискретной системы на основе принципа оптимальности Беллмана. Метод динамического программирования	8/0	<a href="#">[7,9]</a>
9	Синтез оптимального регулятора на основе второго метода А.М.Ляпунова	6/0	<a href="#">[7,9]</a>
<b>ИТОГО:</b>		51/8	

### 3.5 Самостоятельная работа студента

№ п/п	Виды самостоятельной работы студента	Объем, час. очн/заочн
1	Изучение лекционного материала	19/57
2	Подготовка к лабораторным работам	18/56
3	Выполнение курсового проекта	0
4	Выполнение курсовой работы	0
5	Выполнение индивидуального задания	-/9
<b>ИТОГО:</b>		37/122

### 3.6 Курсовой проект (работа), индивидуальное задание

Курсовой проект (работа) по дисциплине учебным планом не предусмотрен. Для очно-заочной формы обучения в рамках освоения дисциплины предусмотрено выполнение студентами контрольной работы (в виде индивидуального задания).

Темой индивидуального задания является расчет оптимального по быстродействию управления объектом А при наличии ограничения на управление и на его скорость движения для обеспечения минимального времени перехвата и сопровождения объекта Б, движущегося по заданной траектории.

Цель – приобретение навыков проведения научных и инженерных расчетов на основе полученных сведений из теории построения оптимальных систем управления при наличии ограничений.

В результате выполнения индивидуального задания студент должен:

- знать основы применения принципа максимума для решения задач оптимизации управления объектами и процессами;
- знать принципы работы с командами, файл-функциями и инструментариями пакетов научных и инженерных расчетов;
- уметь составлять необходимые уравнения при поиске оптимального управления в соответствии с заданным функционалом качества системы при наличии ограничений и решать их в пакетах научных и инженерных расчетов;
- уметь разрабатывать и использовать имитационную модель для проверки полученных решений.

Объем учебной нагрузки при выполнении индивидуального задания составляет 9 часов. Вариант индивидуального задания выбирается студентом в соответствии с методическими указаниями [8], согласовывается с преподавателем и выполняется по методическим рекомендациям [8].

Отчет о работе состоит из текстовой части на листах формата А4. Выполнение индивидуального задания осуществляется с применением специального программного обеспечения для научных и инженерных расчетов. Рекомендуемый объем пояснительной записки по индивидуальному заданию – не более 12 страниц формата А4 (210×297 мм).

## 4 ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

### 4.1 Критерии и шкалы для интегрированной оценки уровня сформированности компетенций

*Составляющая компетенции – полнота знаний*

- нулевой уровень: неверные, не аргументированные, с множеством грубых ошибок ответы на вопросы / ответы на два вопроса из трех полностью отсутствуют. Уровень знаний ниже минимальных требований;
- минимальный уровень: даны не полные, не точные и аргументированные ответы на вопросы. Уровень знаний ниже минимальных требований. Допущено



много грубых ошибок;

- пороговый уровень: даны недостаточно полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. Плохо знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено много негрубых ошибок;

- средний уровень: Даны достаточно полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. В целом знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено несколько негрубых ошибок;

- продвинутый уровень: даны полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. Знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено несколько негрубых ошибок;

- высокий уровень: даны полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. Знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено несколько неточностей.

#### *Составляющая компетенции – умения*

- нулевой уровень: полное отсутствие понимания сути методики решения задачи, допущено множество грубейших ошибок / задания не выполнены вообще;

- минимальный уровень: слабое понимание сути методики решения задачи, допущены грубые ошибки. Решения не обоснованы. Не умеет использовать нормативно-техническую литературу. Не ориентируется в специальной научной литературе, нормативно-правовых актах;

- пороговый уровень: достаточное понимание сути методики решения задачи, допущены ошибки. Решения не всегда обоснованы. Умеет использовать нормативно-техническую литературу. Слабо ориентируется в специальной научной литературе, нормативно-правовых актах;

- средний уровень: в целом понимает суть методики решения задачи, допущены ошибки. Решения не всегда обоснованы. Умеет использовать нормативно-техническую и специальную научную литературу, нормативно-правовые акты;

- продвинутый уровень: в целом понимает суть методики решения задачи, допущены неточности. Способен обосновать решения. Умеет использовать нормативно-техническую и специальную научную литературу, нормативно-правовые акты;

- высокий уровень: понимает суть методики решения задачи. Способен обосновать решения. Умеет использовать нормативно-техническую и специальную научную литературу, передовой зарубежный опыт, нормативно-правовые акты.

#### *Составляющая компетенции – владение навыками*

- нулевой уровень: не продемонстрировал навыки выполнения профессиональных задач. Испытывает существенные трудности при выполнении отдельных заданий;

- минимальный уровень: не продемонстрировал навыки выполнения профессиональных задач. Испытывает существенные трудности при выполнении отдельных заданий;

- пороговый уровень: владеет опытом готовности к профессиональной деятельности и профессиональному самосовершенствованию на пороговом

уровне. Трудовые действия выполняет медленно и некачественно;

- средний уровень: владеет средним опытом готовности к профессиональной деятельности и профессиональному самосовершенствованию. Трудовые действия выполняет на среднем уровне по скорости и качеству;

- продвинутый уровень: владеет опытом и достаточно выраженной личностной готовности к профессиональной деятельности и профессиональному самосовершенствованию. Быстро и качественно выполняет трудовые действия;

- высокий уровень: владеет опытом и выраженностью личностной готовности к профессиональной деятельности и профессиональному самосовершенствованию. Быстро и качественно выполняет трудовые действия.

#### *Обобщенная оценка сформированности компетенций*

- нулевой уровень: компетенции не сформированы;
- минимальный уровень: значительное количество компетенций не сформировано;
- пороговый уровень: все компетенции сформированы, но большинство на пороговом уровне;
- средний уровень: все компетенции сформированы на среднем уровне;
- продвинутый уровень: все компетенции сформированы на среднем или высоком уровне;
- высокий уровень: все компетенции сформированы на высоком уровне.

### **4.2 Вопросы к экзамену и пример экзаменационного билета**

1. Как формулируется задача оптимального управления в технических системах?
2. Как формулируется задача поиска стратегии оптимального управления?
3. Как формулируется задача проектирования оптимального регулятора?
4. Поясните смысл понятия «вариация функционала»
5. Как формулируется простейшая задача вариационного исчисления?
6. Что называют условным экстремумом функции многих переменных?
7. Как можно найти точки условного экстремума?
8. В чем состоит метод неопределенных множителей Лагранжа для поиска экстремума функции многих переменных?
9. Вариации функционала. Условия экстремума функционала.
10. Простейшая задача вариационного исчисления и методика ее решения.
11. Вариационная задача с  $n$  неизвестными функциями. Методика решения.
12. Необходимые условия существования экстремума функционала.
13. Задача вариационного исчисления с подвижными концами.
14. Частные случаи интегрируемости уравнения Эйлера.
15. Теория Гамильтона. Получение уравнений сопряженной системы.
16. Вывод уравнений Беллмана для стационарного случая.
17. Принцип максимума Л.С.Понтрягина.
18. Методика расчета оптимального управления на основе принципа максимума.

## Пример экзаменационного билета

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет»

Уровень высшего профессионального образования: магистратура

Направление подготовки (специальность): 27.04.04 Управление в технических системах

Профиль: Управление и информатика в технических системах

Семестр: 3/4

Учебная дисциплина: \_ Оптимальные системы управления

### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 4

1) Найти экстремали функционала  $J = \frac{1}{2} \int_0^5 (10x_1^2 + 2x_2^2 + 10u^2) dt$  на связях

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -0.8x_1 + 0.4u; \\ \dot{x}_2 = x_1 \end{cases} \text{ при граничных условиях } x(0) = \begin{pmatrix} 0 \\ -5 \end{pmatrix}; x(5) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}. \text{ Задачу решать методами ва-}$$

риационного исчисления.

2) На каких кривых может достигать экстремума функционал

$$J(y, \dot{y}) = \int_0^2 (2\dot{y}^2 - 2y^2 + y \sin 2x - x^2 \sin x) dx \text{ при граничных условиях:}$$

$$y(0) = -1; \quad y(2) = 4.$$

3) Вариации функционала. Условия экстремума функционала.

Утверждено на заседании кафедры автоматики и телекоммуникаций

Протокол № 12 от «13» ноября 2019 года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Турупалов В.В. Экзаменатор \_\_\_\_\_ Хорхордин А.В.

### 4.3 Критерии оценивания

Оценивание уровня освоения студентом учебного материала дисциплины «Математические методы оптимизации» проводится в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации (семестрового контроля).

**Текущий контроль** знаний студента очной и очно-заочной форм обучения осуществляется по результатам выполнения лабораторных работ. Выполнение лабораторных работ с защитой отчёта, предусмотренных рабочей программой дисциплины, является необходимым условием допуска студента к экзамену.

Распределение баллов текущего контроля работы студента на протяжении семестра приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение баллов текущего контроля

Форма контроля	Возможное количество баллов	Примечание
----------------	-----------------------------	------------

Форма контроля	Возможное количество баллов	Примечание
Для студентов очной/очно-заочной формы обучения		
Отчёт по лабораторной работе	5/13	Задание выполнено правильно, проектные решения обоснованы, приведен анализ полученного результата
	2,5/7	Задание выполнено в целом правильно, проектные решения не всегда обоснованы, возникли трудности в объяснении полученных результатов
<b>Итого по лабораторным работам (максимально возможное)</b>	<b>40/40</b>	Из расчёта проведения восьми/трех лабораторных работ. Оценивается каждая работа.
<b>ИТОГО:</b>	<b>40/40</b>	Максимально возможное

**Промежуточная аттестация** по результатам освоения дисциплины в семестре проводится в форме семестрового экзамена. Форма проведения экзамена – письменная. Экзаменационный билет включает в себя 2 задачи и один теоретический вопрос, подобранные в экзаменационном билете таким образом, что они охватывают большую часть теоретических вопросов данной дисциплины. При оценивании студента на экзамене преподаватель руководствуется критериями, приведенными в таблице 2.

Максимальное количество баллов за ответ на вопрос экзаменационного билета засчитывается студенту в случае, если ответ подтверждает владение студентом знаниями в полном объеме учебной программы, материал изложен в логической последовательности с выделением главного, содержит точные формулировки, сопровождается иллюстрирующими схемами и рисунками (при необходимости).

В случае, если ответ на вопрос не в полной мере отвечает приведенным требованиям, студенту засчитывается количество баллов, равное половине от максимального. При отсутствии правильного ответа на поставленный вопрос студент получает 0 баллов.

Таблица 2 – Распределение баллов по семестровому экзамену

Форма контроля		Максимально возможное количество баллов
Ответ на вопросы экзаменационного билета	Задача 1	20
	Задача 2	20
	Вопрос по теории	20
<b>ИТОГО</b>		<b>60</b>

**Итоговая оценка** определяется путем суммирования количества баллов по результатам текущего контроля и количества баллов по результатам семестрового экзамена. **Максимально возможное количество баллов – 100.**

Полученная оценка по 100-балльной шкале определяет оценку по государственной шкале и шкале ESTS:

Сумма баллов по 100-бальной шкале	Оценка по шкале ECTS	Оценка по государственной шкале
90-100	A	Отлично
80-89	B	Хорошо
75-79	C	
70-74	D	
60-69	E	Удовлетворительно
35-59	FX	
0-34	F*	Неудовлетворительно

\* – с обязательным повторным изучением дисциплины.

#### 4.4 Пример текущего опроса на лабораторных занятиях

Тема «Оптимальное по быстродействию управление объектом при ограничениях на скорость объекта и величину управления»

1. В какой форме должна быть представлена модель объекта управления для решения задачи синтеза оптимального управления?
2. Объясните порядок составления гамильтониана.
3. Каким образом в гамильтониан вводится значение функционала качества?
4. Как в гамильтониан вводятся уравнения движения объекта управления?
5. Какими свойствами обладает функция Гамильтона?
6. Как определить условие стационарности функции Гамильтона? Что следует из условия стационарности?
7. В каких случаях оптимальное управление будет принимать значения на границах интервала, установленного для управляющего воздействия?
8. Каким образом учитывается ограничение на одну из переменных состояния объекта?
9. В каком виде следует искать общий вид оптимальной траектории движения объекта, если корни характеристического уравнения комплексные? Вещественные?
10. Как предполагается проверить результаты расчетов, полученные в лабораторной работе?
11. Как можно вычислить значение функционала качества?

Ответы на вопросы входного контроля учитываются преподавателем в результатах текущего контроля работы студента.

#### 4.5 Курсовое проектирование

Учебным планом курсовое проектирование не запланировано



## 5 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### I Основная литература

1. Методы оптимизации : учебное пособие / О. А. Васильева, Е. А. Ларионов, А. Ю. Лемин, В. И. Макаров. — Москва : Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2014. — 96 с. — ISBN 978-5-7264-0864-4. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/26859.html> — Режим доступа: для авторизир. пользователей

2. Теория оптимального управления : учебное пособие / И. П. Болодурина, Т. А. Огурцова, О. С. Арапова, Ю. П. Иванова. — Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2016. — 147 с. — ISBN 978-5-7410-1505-6. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/69954.html> — Режим доступа: для авторизир. пользователей

3. Оптимальное управление в технических системах. Практикум : учебное пособие / Е. А. Балашова, Ю. П. Барметов, В. К. Битюков, Е. А. Хромых ; под редакцией В. К. Битюков. — Воронеж : Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2017. — 288 с. — ISBN 978-5-00032-307-6. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/74014.html> — Режим доступа: для авторизир. пользователей

### II Дополнительная литература

4. Бобцов, А. А. Адаптивное и робастное управление с компенсацией неопределенностей : учебное пособие / А. А. Бобцов, А. А. Пыркин. — Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2013. — 136 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/65762.html> — Режим доступа: для авторизир. Пользователей

5. Деменков, Н. П. Управление в технических системах : учебник / Н. П. Деменков, Е. А. Микрин. — Москва : Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2017. — 456 с. — ISBN 978-5-7038-4661-2. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/93946.html> — Режим доступа: для авторизир. Пользователей

6. Аносов, В. Н. Векторное управление асинхронными электроприводами на основе прогнозирующих моделей : учебное пособие / В. Н. Аносов, А. А. З. Диаб, Д. А. Котин. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2017. — 175 с. — ISBN 978-5-7782-3285-3. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/91189.html> — Режим доступа: для авторизир. пользователей

## 6 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Учебно-методические издания, разработанные в ДОННТУ:

7. Методические указания для выполнения лабораторных работ по дисциплине "Оптимальные системы управления" [Электронный ресурс] : для магистрантов направления подготовки 27.04.04 "Управление в технических системах" : (магистерская программа "Управление и информатика в технических системах") всех форм обучения / ГОУВПО "ДОННТУ", Каф. автоматике и телекоммуникаций ; [сост.: А. В. Хорхордин, И. П. Долгих]. - 1 Мб. - Донецк : ГОУВПО "ДОННТУ", 2020. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. – URL: <http://ed.donntu.ru/books/21/m6392.pdf>

8. Методические указания для выполнения индивидуальных заданий по дисциплине "Оптимальные системы управления" [Электронный ресурс] : для магистрантов направления подготовки 27.04.04 "Управление в технических системах" : (магистерская программа "Управление и информатика в технических системах") всех форм обучения / ГОУВПО "ДОННТУ", Каф. автоматике и телекоммуникаций ; сост.: А. В. Хорхордин, И. П. Долгих. - 437 Кб. - Донецк : ГОУВПО "ДОННТУ", 2020. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. - URL: <http://ed.donntu.org/books/20/m4960.pdf>

9. Методические указания для самостоятельной работы студентов по дисциплине "Оптимальные системы управления" [Электронный ресурс] : для магистрантов направления подготовки 27.04.04 "Управление в технических системах" : магистерская программа "Управление и информатика в технических системах" всех форм обучения / ГОУВПО "ДОННТУ", Каф. автоматике и телекоммуникаций ; сост.: А. В. Хорхордин, И. П. Долгих. - 160 Кб. - Донецк : ГОУВПО "ДОННТУ", 2020. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. - URL: [m5703.pdf \(donntu.ru\)](http://ed.donntu.org/books/20/m5703.pdf)

### Электронно-информационные ресурсы

ЭБС ДОННТУ – <http://donntu.org/library>

### Internet-ресурсы

1. Информационные и математические технологии в науке и управлении (2016 - 2017) - <https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=58066>.

2. Дискретный анализ и исследование операций (2007 - 2013) - <https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=25528>.

3. Математическое моделирование и численные методы (2014-2016) - <https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=51755>.

4. Математика и математическое моделирование (2015 - 2016) - <https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=54179>.

## **7 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **7.1 Лекционные занятия**

Учебная аудитория № 8. 607, учебный корпус 8, для проведения лекционных, лабораторных и практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (мультимедийное оборудование: персональный компьютер с выходом в сеть и возможностью подключения к сети «Интернет» (P IV-1.7 GHz); экран проекционный ELIT SCREENS M113XWS1; коммутационный шкаф; Swich TP-Link; patchpanel; wi-fi точка доступа.

Специализированная мебель: столы; магнитно-маркерная доска.

Системное обеспечение: операционная система Windows XP Professional x86/64 (академическая лицензия DreamSparkPremium); OpenOffice 2.0.3 (общественная лицензия MPL 2.0); Google Slides (бесплатная версия); Mozilla Firefox (общественная лицензия MPL 2.0)).

### **7.2 Лабораторные работы**

Специализированная лаборатория инфокоммуникационных технологий и сетей связи № 8. 608, учебный корпус 8, для проведения лабораторных и практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации

(мультимедийное оборудование: персональные компьютеры с выходом в сеть (iC DualCore 1.6 Ghz; iPE2140-1.6Ghz; iC DualCore 1.6 Ghz); экран проекционный Sopar 180\*180.

Лабораторное оборудование: генератор ГЗ-102; генератор Г6-28; частотомер электронно-счетный ЧЗ-33; источник питания пост. тока Б5-46; осциллограф универсальный С1-79; стойка приборная ДК 7067; микроскоп МБС-9; мультиметр В 1025; анализатор спектра НР 8753С; анализатор спектра НР 8569В; многофункциональный синтезатор НР 8904А; частотомер НР 5372А; генератор сигналов НР8656В4; стабилизатор ТЭС-15; генератор Г6-28; частотомер универсальный цифровой ЧЗ34; измеритель индукционный емкостной высокочастотный Е12-1; прибор для исследования АЧХ Х1-50; стабилизированный выпрямитель ТВ-1; микролаб КР580ИК80.

Специализированная мебель: столы; магнитно-маркерная доска.

Системное обеспечение: операционная система Windows XP Professional x86/64 (академическая лицензия DreamSparkPremium); OpenOffice 2.0.3 (общественная лицензия MPL 2.0); Google Slides (бесплатная версия); Mozilla Firefox (общественная лицензия MPL 2.0); GNU Octave-6.1.0 (общественная лицензия)) компьютерная лаборатория, оснащенная персональными компьютерами;

### **7.3 Самостоятельная работа**

Помещения для самостоятельной работы с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации: читальные залы, учебные корпуса 2, 3, 8

(аудитория №8.001) (компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду (ЭИОС ДОННТУ) и электронно-библиотечную систему (ЭБС IPRbooks), а также возможностью индивидуального неограниченного доступа обучающихся в ЭБС и ЭИОС посредством Wi-Fi с персональных мобильных устройств.

Системное обеспечение: операционная система Microsoft Windows 7 (академическая лицензия, OpenOffice 2.0.3 (общественная лицензия MPL 2.0), Mozilla Firefox (общественная лицензия MPL 2.0), Moodle (Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment) (общественная лицензия GNU).