

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования "Пермский  
государственный национальный исследовательский  
университет"**

**Кафедра вычислительной и экспериментальной механики**

**Авторы-составители: Лутманов Сергей Викторович**

**Рабочая программа дисциплины**

**АЛГОРИТМЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ**

**Код УМК 92369**

**Утверждено  
Протокол №6  
от «16» июня 2020 г.**

**Пермь, 2020**

## **1. Наименование дисциплины**

Алгоритмы оптимального управления

## **2. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина входит в вариативную часть Блока « М.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: **01.04.03** Механика и математическое моделирование  
направленность Фундаментальная и прикладная механика

### **3. Планируемые результаты обучения по дисциплине**

В результате освоения дисциплины **Алгоритмы оптимального управления** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

**01.04.03** Механика и математическое моделирование (направленность : Фундаментальная и прикладная механика)

**ОПК.1** Способен находить, формулировать и решать актуальные проблемы механики и математики

**Индикаторы**

**ОПК.1.1** Определяет и формулирует задачу, пользуется языком предметной области

**ОПК.1.2** Выбирает метод решения поставленной задачи, анализирует полученный результат

#### 4. Объем и содержание дисциплины

<b>Направления подготовки</b>	01.04.03 Механика и математическое моделирование (направленность: Фундаментальная и прикладная механика)
<b>форма обучения</b>	очная
<b>№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины</b>	3
<b>Объем дисциплины (з.е.)</b>	3
<b>Объем дисциплины (ак.час.)</b>	108
<b>Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:</b>	36
<b>Проведение лекционных занятий</b>	24
<b>Проведение практических занятий, семинаров</b>	12
<b>Самостоятельная работа (ак.час.)</b>	72
<b>Формы текущего контроля</b>	Входное тестирование (1) Итоговое контрольное мероприятие (1) Письменное контрольное мероприятие (2)
<b>Формы промежуточной аттестации</b>	Экзамен (3 триместр)

## **5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины**

### **Алгоритмы оптимального управления**

#### **1. ИГРЫ В НОРМАЛЬНОЙ ФОРМЕ**

##### **1.1. Общее описание игры.**

Синтез законов оптимального управления непрерывными детерминированными процессами при классических формах функционалов. Метод динамического программирования. Достаточные условия оптимальности. Уравнение Беллмана. Задача оптимальной одноосной стабилизации КА с помощью маховика по интегральному квадратичному критерию качества.

##### **1.2. Антагонистические игры двух лиц.**

Уравнение Беллмана для функционала с аддитивной функцией затрат на управление и процесса с линейно входящим управлением. Уравнение Беллмана для функционала с квадратичной функцией затрат на управление. Методы решения уравнения Беллмана.

##### **1.3. Концепция оптимальности в играх нескольких лиц.**

Аналитическое конструирование оптимальных регуляторов. Решение линейно-квадратичной классической задачи АКОР для случая стабилизации при отсутствии возмущающих воздействий. Линейно-квадратичные классические стационарные задачи АКОР (случай скользящего интервала оптимизации, случай бесконечного интервала оптимизации, случай нетерминального полуопределенного функционала, наличие возмущающих воздействий). Методы построения решения уравнения Лурье.

#### **2. МАТРИЧНЫЕ ИГРЫ**

##### **2.1. Антагонистические матричные игры двух лиц.**

Оптимизация по критерию обобщенной работы. Неклассические целевые функционалы обобщенной работы. Развитие и современное состояние раздела теории оптимального управления – оптимизации по функционалу обобщенной работы. Решение задачи минимизации критерия обобщенной работы с квадратичной функцией затрат на управление. Теорема Красовского. Уравнение Ляпунова. Обобщения задач оптимизации по ФОР.

##### **2.2. Смешанные стратегии.**

Методы решения уравнения Ляпунова. Метод степенных рядов. Применение классических методов решения уравнений в частных производных для построения решения уравнения Ляпунова.

##### **Контрольная точка 1**

Уравнение Беллмана. Управление на неограниченном интервале времени. Стабилизация динамических систем. Аналитическое конструирование оптимальных регуляторов. Теорема Красовского. Обобщения задач оптимизации по ФОР. Методы решения уравнения Ляпунова.

##### **2.3. Седловая точка в «смешанных» стратегиях.**

Операционный алгоритм управления. Примеры построения приближенного решения уравнения Ляпунова при помощи операционного алгоритма. Модификации операционного алгоритма.

##### **2.4. Существование седловой точки в матричной игре в «смешанных» стратегиях.**

Алгоритмы Вьеториса в задачах оптимизации по критерию обобщенной работы. Исследование сходимости и оценка погрешности приближенного решения.

##### **2.5. Доминирование стратегий.**

Примеры применения метода Вьеториса к исследованию конкретных нелинейных управляемых

объектов.

### **2.6. Симметричные игры.**

Алгоритм оптимального управления с прогнозирующей моделью. Применение к построению точного и приближенного численного решений уравнения Ляпунова.

### **Контрольная точка 2**

Операционный алгоритм управления. Алгоритм Вьеториса. Применение метода Вьеториса для построения приближенного решения уравнения Ляпунова. Алгоритм оптимального управления с прогнозирующей моделью.

## **3. БИМАТРИЧНЫЕ ИГРЫ**

### **3.1. Постановка биматричной игры**

Приведение уравнений управляемых нелинейных колебаний к стандартному виду. Постановка нелинейной задачи оптимального управления с закрепленным временем и краевая задача принципа максимума. Вывод стандартной системы с вращающейся фазой.

### **3.2. Примеры биматричных игр.**

Усредненная краевая задача первого приближения. Исследование структуры решений усредненной краевой задачи первого приближения. Выделение оптимального решения. Алгоритм построения приближенного решения нелинейной задачи оптимального управления.

### **3.3. Наилучшие гарантированные результаты игроков в биматричных играх.**

Нелинейные задачи типа оптимального быстрогодействия. Краевая задача принципа максимума. Определение оптимального решения в нелинейной задаче типа оптимального быстрогодействия. Применение метода усреднения в нелинейной задаче управления быстрыми вращениями системы типа маятника.

### **Итоговое контрольное мероприятие**

Приведение уравнений управляемых нелинейных колебаний к стандартному виду. Исследование усредненной краевой задачи первого приближения. Асимптотическое решение нелинейных задач типа оптимального быстрогодействия.

## **6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторные занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

## **7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

## **8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы**

### **Основная:**

1. Маланин В. В., Стрелкова Н. А. Метод Вьеториса и его применение к задачам статистической динамики и оптимального управления/В. В. Маланин, Н. А. Стрелкова.-М.; Ижевск:Регулярная и хаотическая динамика,2002, ISBN 5-93972-190-7.-140.-Библиогр.: с. 138-140
2. Акуленко Л. Д. Асимптотические методы оптимального управления/Л. Д. Акуленко ; ред. В. В. Белецкий.-Москва:Наука,1987.-368.-Библиогр.: с. 356-365

### **Дополнительная:**

1. Ванько Вячеслав Иванович,Ермошина О. В.,Кувыркин Г. Н. Вариационное исчисление и оптимальное управление:Учеб.пособие/Под.ред.В.С.Зарубина,А.П.Крищенко.-М.:Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана,2001, ISBN 5-7038-1370-0.-488.
2. Афанасьев В. Н.,Колмановский В. Б.,Носов В. Р. Математическая теория конструирования систем управления:учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности "Прикладная математика"/В. Н. Афанасьев, В. Б. Колмановский, В. Р. Носов.-Москва:Высшая школа,2003, ISBN 5-06-004162-X.-614.- Библиогр.: с. 599-601
3. Оптимальное управление движением:учебное пособие для студентов и аспирантов вузов, обучающихся по группе направлений и специальностей механики/В. В. Александров [и др.].- Москва:ФИЗМАТЛИТ,2005, ISBN 5-9221-0401-2.-376.-Библиогр.: с. 368-374
4. Асимптотические методы оптимального управления:учебно-методическое пособие по направлениям подготовки бакалавриата 010800 "Механика и математическое моделирование", 011000 "Механика. Прикладная математика"/Министерство образования и науки Российской Федерации, Пермский государственный университет.-Пермь,2011.-77.-Библиогр.: с. 76
5. Черноусько Ф. Л.,Акуленко Л. Д.,Соколов Б. Н. Управление колебаниями/Ф. Л. Черноусько, Л. Д. Акуленко, Б. Н. Соколов.-М.:Наука,1980.-384.-Библиогр.: с. 369-383



## **9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины**

<http://www.psu.ru/elektronnye-resursy-dlya-psu> Электронные ресурсы для ПГНИУ

<http://www.mathnet.ru/> Общероссийский математический портал

<http://window.edu.ru/> Единое окно доступа к образовательным ресурсам

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Образовательный процесс по дисциплине **Алгоритмы оптимального управления** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

- доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС);
- доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Необходимое лицензионное и (или) свободно распространяемое программное обеспечение:

- приложение позволяющее просматривать и воспроизводить медиаконтент PDF-файлов «Adobe Acrobat Reader DC»;
- офисный пакет приложений «LibreOffice»;

Специализированное программное обеспечение не требуется.

При освоении материала и выполнения заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ ([student.psu.ru](http://student.psu.ru)).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).

система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.

система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

## **11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Для лекционных занятий требуется аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для проведения практических занятий - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для групповых (индивидуальных) консультаций - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для проведения текущего контроля - аудитория, оснащенная меловой (и) или маркерной доской.

Самостоятельная работа студентов: аудитория, оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», с обеспеченным доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, помещения Научной библиотеки ПГНИУ.

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютера с

доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине  
Алгоритмы оптимального управления**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции.  
Индикаторы и критерии их оценивания**

**ОПК.1**

**Способен находить, формулировать и решать актуальные проблемы механики и математики**

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p><b>ОПК.1.2</b> Выбирает метод решения поставленной задачи, анализирует полученный результат</p>	<p><b>ЗНАТЬ:</b> основные понятия и утверждения теории оптимального управления, методы решения уравнения Беллмана, методы решения задач АКОР, методы решения уравнения Ляпунова в задачах минимизации критерия обобщенной работы; <b>УМЕТЬ:</b> создавать и исследовать новые математические модели в механике с использованием теории оптимального управления; выбирать необходимые методы исследования, модифицировать существующие и разрабатывать новые методы исходя из задач конкретного исследования; <b>ВЛАДЕТЬ:</b> навыками применения изученных методов для решения конкретных прикладных задач оптимального управления, навыками теоретического анализа полученных результатов.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Неудовлетворител</b></p> <p>Не знает основные понятия, утверждения теории оптимального управления и методы решения задач синтеза оптимального управления динамическими системами. Демонстрирует отсутствие навыков создавать и исследовать математические модели в механике с использованием изученных методов.</p> <p style="text-align: center;"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>Общие, но не структурированные знания основных понятий, утверждений теории оптимального управления и методов решения задач синтеза оптимального управления динамическими системами. Демонстрирует частично сформированное умение создавать и исследовать математические модели в механике с использованием изученных методов, давать содержательную интерпретацию результатов исследования.</p> <p style="text-align: center;"><b>Хорошо</b></p> <p>Сформированные, но содержащие некоторые пробелы знания основных понятий и утверждений теории оптимального управления, методов решения уравнения Беллмана, методов решения линейно-квадратичных задач АКОР, методов решения задач синтеза оптимального по ФОР управления динамическими системами. В целом успешные, но содержащие некоторые пробелы умения создавать и исследовать математические модели в механике с использованием изученных методов, давать содержательную интерпретацию результатов исследования. Умеет контролировать</p>

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p><b>Хорошо</b> правильность вычислений, самостоятельно приобретать новые знания.</p> <p><b>Отлично</b> Сформированные систематические знания основных понятий и утверждений теории оптимального управления, методов решения уравнения Беллмана, методов решения линейно-квадратичных задач АКОР, методов решения задач синтеза оптимального по ФОР управления динамическими системами. Сформированное умение создавать и исследовать математические модели в механике с использованием изученных методов, давать содержательную интерпретацию результатов исследования, контролировать правильность вычислений, самостоятельно приобретать новые знания.</p>
<p><b>ОПК.1.1</b> Определяет и формулирует задачу, пользуется языком предметной области</p>	<p>ЗНАТЬ: основные понятия и формулировки задач оптимального управления, методы усреднения в нелинейных задачах оптимального управления; УМЕТЬ: математически корректно ставить естественнонаучные задачи оптимального управления, применять асимптотические методы в стандартных постановках, давать содержательную интерпретацию результатов вычислений, контролировать правильность вычислений, самостоятельно приобретать новые знания; ВЛАДЕТЬ: основным понятийным аппаратом теории и асимптотическими методами решения задач оптимального управления, навыками теоретического анализа полученных результатов.</p>	<p><b>Неудовлетворител</b> Не знает основные понятия и формулировки задач оптимального управления. Демонстрирует отсутствие навыков решения задач оптимального управления при помощи асимптотических методов.</p> <p><b>Удовлетворительн</b> Общие, но не структурированные знания основных понятий и формулировок задач оптимального управления. Демонстрирует частично сформированное умение решать с использованием асимптотических методов задачи оптимального управления в стандартных постановках, давать содержательную интерпретацию результатов исследования задач оптимизации.</p> <p><b>Хорошо</b> Сформированные, но содержащие некоторые пробелы знания основных понятий и формулировок задач оптимального управления. В целом успешные, но содержащие некоторые пробелы умения решать с использованием асимптотических методов задачи оптимального управления в стандартных постановках, давать содержательную интерпретацию результатов</p>

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p><b>Хорошо</b>  исследования задач оптимизации. Умеет самостоятельно приобретать новые знания. Владеет основным понятийным аппаратом теории и асимптотическими методами решения задач оптимального управления.</p> <p><b>Отлично</b>  Сформированные систематические знания основных понятий и формулировок задач оптимального управления. Сформированное умение решать с использованием асимптотических методов задачи оптимального управления в стандартных постановках, давать содержательную интерпретацию результатов исследования задач оптимизации, контролировать правильность вычислений, самостоятельно приобретать новые знания.</p>

## Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : Базовая

**Вид мероприятия промежуточной аттестации :** Экзамен

**Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации :** Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

**Максимальное количество баллов :** 100

### Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 43 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 43 балла

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<b>Входной контроль</b>	1.1. Общее описание игры. <b>Входное тестирование</b>	Проверка знаний базовых понятий и методов, необходимых для изучения курса «Алгоритмы оптимального управления»
<b>ОПК.1.2</b> Выбирает метод решения поставленной задачи, анализирует полученный результат	Контрольная точка 1 <b>Письменное контрольное мероприятие</b>	Знать основные методы решения уравнения Беллмана, методы решения задач АКОР. Владеть навыками проведения эффективных исследований с использованием изученных методов динамического программирования.
<b>ОПК.1.2</b> Выбирает метод решения поставленной задачи, анализирует полученный результат	Контрольная точка 2 <b>Письменное контрольное мероприятие</b>	Знать основные методы решения задач синтеза оптимального по ФОР управления динамическими системами. Владеть навыками проведения эффективных исследований конкретных прикладных задач оптимизации по ФОР с использованием изученных методов.

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<b>ОПК.1.1</b> Определяет и формулирует задачу, пользуется языком предметной области	Итоговое контрольное мероприятие <b>Итоговое контрольное мероприятие</b>	Знать постановку нелинейных задач оптимального управления. Уметь применять асимптотические методы усреднения для решения теоретических и прикладных задач оптимального управления, давать содержательную интерпретацию результатов вычислений, контролировать правильность вычислений. Владеть основным понятийным аппаратом теории, навыками теоретического анализа полученных результатов.

### Спецификация мероприятий текущего контроля

#### 1.1. Общее описание игры.

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **0**

Проходной балл: **0**

Показатели оценивания	Баллы
Входное тестирование	16

#### Контрольная точка 1

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **2 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
<p>Знает обоснование метода Беллмана и основные методы решения уравнения Беллмана. Умеет использовать уравнение Беллмана для исследования конкретных задач оптимального управления процесса с линейно входящим управлением. Знает методы решения линейно-квадратичных задач АКОР.</p> <p>15 баллов: Ответ на вопрос в билете исчерпывающий, изложен без ошибок, все выкладки обоснованы.</p> <p>12 баллов: Основной материал изложен, однако при проведении математических преобразований допущены описки, неточности.</p> <p>8 баллов: Ответ не полный, студент не знает отдельных деталей, допускает негрубые ошибки и неточности при проведении математических преобразований.</p>	15

<p>4 балла: Ответ изложен частично, изложение теоретического материала не завершено, допущены ошибки при проведении математических преобразований, вычислений, выкладок.</p> <p>0 баллов: Ответ на вопрос отсутствует или допущены грубые математические ошибки при изложении теоретического материала.</p>	
<p>Знает постановку задачи синтеза оптимального по ФОР управления. Знает формулировку и доказательство теоремы Красовского. Умеет применять классические методы решения дифференциальных уравнений в частных производных для построения точного решения уравнения Ляпунова для задач оптимального по ФОР управления.</p> <p>10 баллов: Ответ на вопрос в билете исчерпывающий, изложен без ошибок, все выкладки обоснованы.</p> <p>8 баллов: Основной материал изложен, однако при проведении математических преобразований допущены описки, неточности.</p> <p>5 баллов: Ответ не полный, студент не знает отдельных деталей, допускает негрубые ошибки и неточности при проведении математических преобразований.</p> <p>3 балла: Ответ изложен частично, изложение теоретического материала не завершено, допущены ошибки при проведении математических преобразований, вычислений, выкладок.</p> <p>0 баллов: Ответ на вопрос отсутствует или допущены грубые математические ошибки при изложении теоретического материала.</p>	10
<p>Умеет применять методы решения дифференциальных уравнений в частных производных для построения точного решения уравнения Ляпунова для модельных задач оптимального по ФОР управления.</p> <p>Показатели оценивания для индивидуального задания.</p> <p>5 баллов: Задача решена верно, все выкладки обоснованы.</p> <p>4 балла: Решение в целом верное, однако при проведении математических преобразований допущены описки, неточности.</p> <p>3 балла: Решение не полное, студент не знает отдельных деталей, допускает негрубые ошибки и неточности при проведении математических преобразований.</p> <p>2 балла: Ответ изложен частично, решение задачи не завершено или получен неверный ответ, допущены ошибки при проведении математических преобразований, вычислений, выкладок.</p> <p>1 балл: Решение задачи не завершено, допущены грубые математические ошибки при проведении математических преобразований, вычислений, выкладок.</p> <p>0 баллов: Решение задачи отсутствует или допущены грубые математические ошибки при</p>	5



использовании методов решения рассматриваемого класса задач.	

## Контрольная точка 2

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **2 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **35**

Проходной балл: **15**

Показатели оценивания	Баллы
<p>Знает методы решения задач синтеза оптимального по ФОР управления и умеет применять их для построения приближенного решения уравнения Ляпунова.</p> <p>Показатели оценивания для каждого из трех индивидуальных заданий.</p> <p>5 баллов: Задача решена верно, все выкладки обоснованы.</p> <p>4 балла: Решение в целом верное, однако при проведении математических преобразований допущены описки, неточности.</p> <p>3 балла: Решение не полное, студент не знает отдельных деталей, допускает негрубые ошибки и неточности при проведении математических преобразований.</p> <p>2 балла: Ответ изложен частично, решение задачи не завершено или получен неверный ответ, допущены ошибки при проведении математических преобразований, вычислений, выкладок.</p> <p>1 балл: Решение задачи не завершено, допущены грубые математические ошибки при проведении математических преобразований, вычислений, выкладок.</p> <p>0 баллов: Решение задачи отсутствует или допущены грубые математические ошибки при использовании методов решения рассматриваемого класса задач.</p>	15
<p>Знает операционный алгоритм и его модификации. Умеет применять операционный алгоритм к вычислению приближенного решения уравнения Ляпунова. Знает алгоритм оптимального управления с прогнозирующей моделью. Умеет применять алгоритм оптимального управления с прогнозирующей моделью для построения точного решения уравнения Ляпунова для модельных задач оптимального по ФОР управления. Знает методы использования алгоритма оптимального управления с прогнозирующей моделью для построения приближенного решения уравнения Ляпунова.</p> <p>10 баллов: Ответ на вопрос в билете исчерпывающий, изложен без ошибок, все выкладки обоснованы.</p> <p>8 баллов: Основной материал изложен, однако при проведении математических преобразований допущены описки, неточности.</p> <p>5 баллов: Ответ не полный, студент не знает отдельных деталей, допускает негрубые</p>	10

<p>ошибки и неточности при проведении математических преобразований.</p> <p>3 балла: Ответ изложен частично, изложение теоретического материала не завершено, допущены ошибки при проведении математических преобразований, вычислений, выкладок.</p> <p>0 баллов: Ответ на вопрос отсутствует или допущены грубые математические ошибки при изложении теоретического материала.</p>	
<p>Знает обобщения задач оптимизации по ФОР и основные методы решения задач синтеза оптимального по ФОР управления динамическими системами. Знает алгоритм Вьеториса. Знает доказательство сходимости предела последовательности Вьеториса к точному решению уравнения Ляпунова, оценку погрешности приближенного решения. Умеет применять метод Вьеториса к исследованию конкретных прикладных задач оптимизации по ФОР.</p> <p>10 баллов: Ответ на вопрос в билете исчерпывающий, изложен без ошибок, все выкладки обоснованы.</p> <p>8 баллов: Основной материал изложен, однако при проведении математических преобразований допущены описки, неточности.</p> <p>5 баллов: Ответ не полный, студент не знает отдельных деталей, допускает негрубые ошибки и неточности при проведении математических преобразований.</p> <p>3 балла: Ответ изложен частично, изложение теоретического материала не завершено, допущены ошибки при проведении математических преобразований, вычислений, выкладок.</p> <p>0 баллов: Ответ на вопрос отсутствует или допущены грубые математические ошибки при изложении теоретического материала.</p>	10

### Итоговое контрольное мероприятие

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **2 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставаемый за мероприятие промежуточной аттестации: **35**

Проходной балл: **15**

Показатели оценивания	Баллы
<p>Знает постановку нелинейной задачи оптимального управления с закрепленным временем. Умеет преобразовывать уравнения, описывающие управляемые нелинейные колебания, к стандартному виду. Умеет применять методы усреднения к построению первого приближения в конкретных нелинейных задачах оптимального управления с фиксированным временем.</p> <p>15 баллов: Ответ на вопрос в билете исчерпывающий, изложен без ошибок, все выкладки обоснованы.</p> <p>12 баллов: Основной материал изложен, однако при проведении математических преобразований допущены описки,</p>	15

<p>неточности.</p> <p>8 баллов: Ответ не полный, студент не знает отдельных деталей, допускает негрубые ошибки и неточности при проведении математических преобразований.</p> <p>4 балла: Ответ изложен частично, изложение теоретического материала не завершено, допущены ошибки при проведении математических преобразований, вычислений, выкладок.</p> <p>0 баллов: Ответ на вопрос отсутствует или допущены грубые математические ошибки при изложении теоретического материала.</p>	
<p>Знает постановку нелинейной задачи типа оптимального быстрогодействия. Знает особенности применения методов усреднения к построению приближенного решения в задачах оптимального управления с нефиксированным временем. Умеет применять методы усреднения к построению первого приближения в конкретных нелинейных задачах оптимального управления типа оптимального быстрогодействия.</p> <p>10 баллов: Ответ на вопрос в билете исчерпывающий, изложен без ошибок, все выкладки обоснованы.</p> <p>8 баллов: Основной материал изложен, однако при проведении математических преобразований допущены описки, неточности.</p> <p>5 баллов: Ответ не полный, студент не знает отдельных деталей, допускает негрубые ошибки и неточности при проведении математических преобразований.</p> <p>3 балла: Ответ изложен частично, изложение теоретического материала не завершено, допущены ошибки при проведении математических преобразований, вычислений, выкладок.</p> <p>0 баллов: Ответ на вопрос отсутствует или допущены грубые математические ошибки при изложении теоретического материала.</p>	10
<p>Знает методы усреднения решения задач оптимального управления и умеет применять их для построения приближенного решения одночастотных нелинейных задач оптимального управления.</p> <p>Показатели оценивания для каждого из двух индивидуальных заданий.</p> <p>5 баллов: Задача решена верно, все выкладки обоснованы.</p> <p>4 балла: Решение в целом верное, однако при проведении математических преобразований допущены описки, неточности.</p> <p>3 балла: Решение не полное, студент не знает отдельных деталей, допускает негрубые ошибки и неточности при проведении математических преобразований.</p> <p>2 балла: Ответ изложен частично, решение задачи не завершено или получен неверный ответ, допущены ошибки при проведении математических преобразований, вычислений, выкладок.</p>	10

<p>1 балл: Решение задачи не завершено, допущены грубые математические ошибки при проведении математических преобразований, вычислений, выкладок.</p> <p>0 баллов: Решение задачи отсутствует или допущены грубые математические ошибки при использовании методов решения рассматриваемого класса задач.</p>	