

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники



УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

Документ подписан электронной подписью

Сертификат: 1с6сfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820

Владелец: Троян Павел Ефимович

Действителен: с 19.01.2016 по 16.09.2019

«___» _____ 2017 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ТЕОРИЯ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Уровень основной образовательной программы бакалавриат

Направление подготовки 01.03.02 Прикладная математика и информатика

Форма обучения очная

Факультет систем управления

Кафедра автоматизированных систем управления

Курс 4

Семестр 7

Учебный план набора 2013 года и последующих лет

Распределение рабочего времени:

Виды учебной работы	Семестр 7	Всего	Единицы
Лекции	18	18	часов
Лабораторные работы	не предусмотрено	-	часов
Практические занятия	18	18	часов
Курсовой проект/работа (КРС) (аудиторная)	не предусмотрено	-	часов
Всего аудиторных занятий	36	36	часов
Из них в интерактивной форме	8	8	часов
Самостоятельная работа студентов (СРС)	36	36	часов
Всего	72	72	часа
Самост. работа на подготовку и сдачу зачета	не предусмотрено	-	часов
Общая трудоемкость	72	72	часа
(в зачетных единицах)	2	2	ЗЕТ

Зачет 7 семестр

Томск 2017

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального Государственного образовательного стандарта профессионального образования (ФГОС ПО) по направлению 01.03.02 Прикладная математика и информатика (квалификация (степень) бакалавр), утвержденного Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации 12.03.2016 №228, рассмотрена и утверждена на заседании кафедры «24» января 2017 г., протокол № 2.

Разработчик д.т.н., профессор, зав. каф. АСУ _____ А.М. Корилов

Зав. обеспечивающей кафедрой АСУ
д.т.н., профессор _____ А.М. Корилов

Рабочая программа согласована с факультетом, профилирующей и выпускающей кафедрами специальности.

Декан, к.т.н., доцент _____ П.В. Сенченко

Заведующий профилирующей и выпускающей
кафедрой АСУ, д.т.н., профессор _____ А.М. Корилов

Эксперт:

Кафедра АСУ,
(место работы)

доцент
(занимаемая должность)

(инициалы, фамилия)

А.И. Исакова

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Теория оптимального управления» читается в 7 семестре и предусматривает чтение лекций, проведение лабораторных занятий, и получение различного рода консультаций.

Цель дисциплины: – изучение научных и методических основ, концепций, принципов, моделей и алгоритмов теории оптимального управления с использованием информационных технологий.

Задачей дисциплины является изучение и приобретение студентами навыков выбора методов, моделей и алгоритмов оптимального управления при проектировании и исследовании автоматизированных информационных систем в различных областях производственной, управленческой и коммерческой деятельности.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Дисциплина «Теория оптимального управления» относится к числу дисциплин по выбору.

Успешное овладение дисциплиной предполагает предварительные знания студентами разделов математики и информатики, которые они изучали в следующих дисциплинах: «Математический анализ», «Комплексный анализ», «Функциональный анализ», «Алгебра и геометрия», «Основы информатики», «Математическая логика и теория алгоритмов», «Дискретная математика», «Дифференциальные уравнения».

Знания, полученные студентами по данной дисциплине, будут использоваться при изучении следующих дисциплин: «Компьютерное моделирование», «Математические модели обработки данных», «Системы цифровой обработки сигналов».

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

общефессиональные компетенции (ОПК):

1) способность использовать базовые знания естественных наук, математики и информатики, основные факты, концепции, принципы теорий, связанных с прикладной математикой и информатикой (ОПК-1);

2) способность к разработке алгоритмических и программных решений в области системного и прикладного программирования, математических, информационных и имитационных моделей, созданию информационных ресурсов глобальных сетей, образовательного контента, прикладных баз данных, тестов и средств тестирования систем и средств на соответствие стандартам и исходным требованиям (ОПК-3);

профессиональные компетенции (ПК):

3) способность понимать, совершенствовать и применять современный математический аппарат (ПК-2).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать: терминологию, основные понятия и определения, математические методы теории вариационного исчисления и её применения в задачах оптимального управления; научиться ставить и решать оптимизационные задачи управления в области технических и экономических систем.

Уметь: применять на практике решение задач в области теории управления, теории автоматического управления, теории оптимального управления.

Владеть: навыками решения практических задач вариационного исчисления, в том числе задач оптимального управления, в области технических и экономических систем.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры		
		...	7	...
Аудиторные занятия (всего)	36		36	
В том числе:	-	-	-	-
Лекции	18		18	
Лабораторные работы (ЛР)	не предусмотрено		-	
Практические занятия (ПЗ)	18		18	
Семинары (С)				
Коллоквиумы (К)				
Курсовой проект/(работа) (аудиторная нагрузка)	не предусмотрено		-	
Другие виды аудиторной работы				
Самостоятельная работа (всего)	36		36	

В том числе:	-	-	-	-
Курсовой проект (работа) (самостоятельная работа)	-	-	-	-
Расчетно-графические работы	-	-	-	-
Проработка лекционного материала	9		9	
Подготовка к лабораторным работам	18		18	
Самостоятельное изучение тем теоретической части	9		9	
Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)	зачет		зачет	
Общая трудоемкость час	72		72	
Зачетные Единицы Трудоемкости	2		2	

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Разделы дисциплин и виды занятий

Таблица 5.1

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекц.	Практ. зан.	Лаб. раб.	Курс. раб.	СРС	Всего час.	Формируемые компетенции
1.	Постановка и классификация задач оптимального управления (ОУ). Примеры задач ОУ.	4	2			6	12	ОПК-1, 3, ПК- 2
2	Вариационные методы в задачах ОУ	4	4			8	16	ОПК-1, 3, ПК- 2
3	Принцип максимума Понтрягина	4	4			8	16	ОПК-1, 3, ПК- 2
4	Динамическое программирование	4	8			12	24	ОПК-1, 3, ПК- 2
5	Иерархические (многоуровневые) системы ОУ	2				2	4	ОПК-1, 3, ПК- 2
ИТОГО		18	18			36	72	

5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

№ п/п	Наименование разделов	Содержание разделов	Трудоемкость (час.)	Формируемые компетенции
1	Постановка и классификация задач оптимального управления (ОУ). Примеры задач ОУ.	Методологические основы теории оптимального управления. Применение методов теории оптимального управления в инженерной практике. Связь с теорией автоматического управления. Исторический путь становления различных методов теории оптимального управления. Содержательные и формализованные постановки задач теории оптимального управления. Критерии качества и ограничения. Классификация задач теории оптимального управления по виду целевой функции, критерию и типу ограничений. Задачи математического программирования и управления. Примеры задач оптимального управления.	4	ОПК-1, 3, ПК- 2
2	Вариационные методы в задачах ОУ	Общая постановка задачи оптимального управления. Допустимые управления. Уравнение Эйлера. Экстремальное управление и экстремальные траектории. Условия трансверсальности. Исследование второй вариации. Условие Лежандра-Клебша.	4	ОПК-1, 3, ПК- 2
3	Принцип максимума Понтрягина	Метод игольчатой вариации. Связь с вариационным исчислением. Особое управление. Оптимальное быстроедействие.	4	ОПК-1, 3, ПК- 2
4	Динамическое программирование	Уравнение Беллмана для непрерывных и дискретных систем. Решение задач оптимального управления для непрерывных и дискретных систем в стационарном и нестационарном случаях. Связь методов динамического программирования и принципа максимума. Расчетные схемы методов динамического программирования и принципа максимума.	4	ОПК-1, 3, ПК- 2
5	Иерархические (многоуровневые) системы ОУ	Анализ некоторых понятий оптимального, адаптивного и интеллектуального управления. Возможность единого подхода к проведению исследований по комплексной автоматизации и роботизации транспортных и технологических процессов (ТП) на основе оптимизационного подхода. Определение сложных оптимизационных систем	2	ОПК-1, 3, ПК- 2

	управления (ОСУ) ТП как интеллектуальных систем управления (ИСУ), действующих рационально и оптимально. Обобщенная иерархическая структурная схема ОСУ. Формализация задач исследования ОСУ в виде иерархии экстремальных задач.		
ИТОГО		18	

5.3. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и последующими дисциплинами

№ п/п	Наименование обеспечивающих (предыдущих) дисциплин	№ № разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих (предыдущих) дисциплин				
		1	2	3	4	5
1.	«Математический анализ»	+	+	+	+	+
2.	«Комплексный анализ»		+	+	+	+
3.	«Функциональный анализ»		+	+	+	+
4.	«Алгебра и геометрия»	+	+	+	+	+
5.	«Математическая логика и теория алгоритмов»		+	+	+	+
6.	«Дискретная математика»		+	+	+	+
7.	«Основы информатики»				+	+
8.	«Дифференциальные уравнения»	+	+	+	+	+

№ п/п	Наименование последующих дисциплин	№ № разделов данной дисциплины, которые необходимы при изучении последующих дисциплин				
		1	2	3	4	5
1.	«Компьютерное моделирование»	+			+	+
2.	«Математические модели обработки данных»	+	+	+	+	+
3.	«Системы цифровой обработки сигналов»	+	+		+	+

5.4. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Компетенции	Л	ПЗ	СРС	Формы контроля
				ОПК-1
ОПК-3	+	+	+	Опрос на лекции; контрольные работы, проверка дом. заданий, тесты, тест
ПК-2	+	+	+	Опрос на лекции; контрольные работы, проверка дом. заданий, тесты, тест

Л – лекция, ПЗ – практические занятия, СРС – самостоятельная работа студента

6. МЕТОДЫ И ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ

Для успешного освоения дисциплины применяются различные образовательные технологии, которые обеспечивают достижение планируемых результатов обучения согласно основной образовательной программе, с учетом требований к объему занятий в интерактивной форме.

Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий

Методы	Формы	Лекции (час)	Лабораторные работы (час)	Всего (час)
	«Мозговая атака»	1	1	2
Презентации с использованием различных вспомогательных средств: интерактивной доски, раздаточных материалов, видеофильмов, слайдов, мультимедийной презентации, задания на СРС		2	4	6
Итого интерактивных занятий		3	5	8

Примечание.

1. «Мозговая атака» реализуется при коллективном обсуждении методов оптимального управления.

2. Презентации с использованием различных вспомогательных средств (интерактивной доски, раздаточных материалов, видеофильмов, слайдов, мультимедийной презентации, задания на СРС) используются студентами при выполнении лабораторных работ и защите отчетов по лабораторным работам, при выполнении и защите рефератов и отчетов по домашним заданиям.

7. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ не предусмотрены РУП.

Таблица 11.2 – Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

Баллы на дату контрольной точки	Оценка
Не менее 90 % от максимальной суммы баллов на дату КТ	5
От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату КТ	4
От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату КТ	3
Менее 60 % от максимальной суммы баллов на дату КТ	2

12. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Карпов, А. Г. Теория автоматического управления. Часть 1: Учебное пособие для студентов направления подготовки "Управление в технических системах" 27.03.04 [Электронный ресурс] / Карпов А. Г. — Томск: ТУСУР, 2011. — 212 с. — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/6249>

2. Карпов, А. Г. Теория автоматического управления. Часть 2: Учебное пособие для студентов направления подготовки "Управление в технических системах" 27.03.04 [Электронный ресурс] / Карпов А. Г. — Томск: ТУСУР, 2012. — 264 с. — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/6251>

12.2. Дополнительная литература

1. Теория автоматического управления: учебное методическое пособие / Ю. М. Лебедев; Министерство общего и профессионального образования Российской Федерации, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - М.: ТМЦДО, 1999. - 129 с. (11 экз).

2. Основы теории управления: Учебное пособие для вузов / А. М. Кориков; Министерство образования Российской Федерации, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - 2-е изд. - Томск: Издательство научно-технической литературы, 2002. - 391 [1] с. (136 экз).

12.3 Учебно-методические пособия

12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Карпов, А. Г. Теория автоматического управления.: Учебное методическое пособие по проведению практических, лабораторных и самостоятельных занятий для студентов направления подготовки "Управление в технических системах" 27.03.04 [Электронный ресурс] / Карпов А. Г. — Томск: ТУСУР, 2016. — 105 с. — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/6250>

2. Шидловский, В. С. Теория автоматического управления: Учебно-методическое пособие к лабораторным работам [Электронный ресурс] / Шидловский В. С. — Томск: ТУСУР, 2012. — 24 с. — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/1135>

3. Карпов, А. Г. Современные проблемы теории управления: Учебное методическое пособие по самостоятельной работе, практическим занятиям и контрольным работам [Электронный ресурс] / Карпов А. Г. — Томск: ТУСУР, 2015. — 15 с. — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/6662>

12.3.2 Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

Для лиц с нарушениями зрения:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

12.4. Базы данных, информационно-справочные, поисковые системы и требуемое программное обеспечение

1. www.compress.ru – Журнал «КомпьютерПресс»
2. www.isn.ru – Российская сеть информационного общества
3. <http://www.soft-unity.ru> сайт компании «Софт-Юнити»

13.1. Общие требования к материально-техническому обеспечению дисциплины

13.1.1. Материально-техническое обеспечение для лекционных занятий

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория, с количеством посадочных мест не менее 22-24, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются наглядные пособия в виде презентаций по лекционным разделам дисциплины.

13.1.2. Материально-техническое обеспечение для практических работ

Для проведения практических занятий используется учебно-исследовательская вычислительная лаборатория, расположенная по адресу 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 4 этаж, ауд. 437, 438, 439. Состав оборудования: Учебная мебель; Экран с электроприводом DRAPER BARONET – 1 шт.; Мультимедийный проектор TOSHIBA – 1 шт.; Компьютеры класса не ниже Intel Pentium G3220 (3.0GHz/4Mb)/4GB RAM/ 500GB с широкополосным доступом в Internet, с мониторами типа Samsung 18.5" S19C200N– 10 шт.; Используется лицензионное программное обеспечение, пакеты версией не ниже: Microsoft Windows XP Professional with SP3; Visual Studio 2008 EE with SP1; Microsoft Office Visio 2010; Microsoft SQL-Server 2005; графические редакторы Lightwave 3D, Corel Xara, Adobe Photoshop.

13.1.3. Материально-техническое обеспечение для самостоятельной работы

Для самостоятельной работы используется учебная аудитория (компьютерный класс), расположенная по адресу 634034, г. Томск, ул. Вершинина, 74, 1 этаж, ауд. 100. Состав оборудования: учебная мебель; компьютеры класса не ниже ПЭВМ INTEL Celeron D336 2.8ГГц. - 4 шт.; компьютеры подключены к сети ИНТЕРНЕТ и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

13.2. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Освоение дисциплины лицами с ОВЗ осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При обучении студентов с нарушениями слуха предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах для студентов с нарушениями слуха, мобильной системы обучения для студентов с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой обучаются студенты с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При обучении студентов с нарушениями зрения предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеувеличителей для удаленного просмотра.

При обучении студентов с нарушениями опорно-двигательного аппарата используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах для студентов с нарушениями опорно-двигательного аппарата, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

14. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

14.1. Основные требования к фонду оценочных средств и методические рекомендации

Фонд оценочных средств и типовые контрольные задания, используемые для оценки сформированности и освоения закрепленных за дисциплиной компетенций при проведении текущей, промежуточной аттестации по дисциплине приведен в приложении к рабочей программе.

14.2 Требования к фонду оценочных средств для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Для студентов с инвалидностью предусмотрены дополнительные оценочные средства, перечень которых указан в таблице 14.1.

Таблица 14.1 – Дополнительные средства оценивания для студентов с инвалидностью

Категории студентов	Виды дополнительных оценочных средств	Формы контроля и оценки результатов обучения
С нарушениями слуха	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы	Преимущественно письменная проверка
С нарушениями зрения	Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам	Преимущественно устная проверка (индивидуально)

С нарушениями опорно- двигательного аппарата	Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету	Преимущественно дистанционными методами
С ограничениями по общемедицинским показаниям	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы	Преимущественно проверка методами, исходя из состояния обучающегося на момент проверки

14.3 Методические рекомендации по оценочным средствам для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Для студентов с ОВЗ предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной форме;
- в печатной форме с увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- методом чтения ассистентом задания вслух;
- предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Студентам с инвалидностью увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы.

Для таких студентов предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге;
- набор ответов на компьютере;
- набор ответов с использованием услуг ассистента;
- представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

При необходимости для обучающихся с инвалидностью процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Приложение к рабочей программе

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

_____ П. Е. Троян

«_» _____ 2017 г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

ТЕОРИЯ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Уровень основной образовательной программы _____ бакалавриат _____

Направление подготовки _____ 01.03.02 Прикладная математика и информатика _____

Форма обучения _____ очная _____

Факультет _____ систем управления _____

Кафедра _____ автоматизированных систем управления _____

Курс _____ 4 _____

Семестр _____ 7 _____

Учебный план набора _____ 2013 и последующих лет _____

Зачет _____ 7 _____ семестр

Томск 2017

1. ВВЕДЕНИЕ

Фонд оценочных средств (ФОС) является приложением к рабочей программе дисциплины «Теория оптимального управления» и представляет собой совокупность контрольно-измерительных материалов (типовые задачи (задания), контрольные работы, тесты и др.) и методов их использования, предназначенных для измерения уровня достижения студентом установленных результатов обучения.

ФОС по дисциплине (практике) используется при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов.

Перечень закрепленных за дисциплиной «Теория оптимального управления» компетенций приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций

Код	Формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции
ОПК-1	Способность использовать базовые знания естественных наук, математики и информатики, основные факты, концепции, принципы теорий, связанных с прикладной математикой и информатикой;	<p><u>Знать:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – роль естественных наук, математики и информатики на различных этапах оптимизации, в том числе с использованием теории оптимального управления (ТОУ); – концепции, принципы теорий, связанные с прикладной математикой и информатикой в рамках использования ТОУ и теории оптимизации; – принципы построения естественнонаучных задач и возможности их оптимизации; <p><u>Уметь:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – выполнять функции и использовать методы информационного менеджмента при построении задач естественных наук с применением ТОУ и методов оптимизации (МО); – принимать решения в сфере связанной с прикладной математикой и информатикой, выделять наиболее актуальные базовые параметры; – управлять способностью использовать базовые знания естественных наук для задач ТОУ. <p><u>Владеть:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – основными приемами стратегического тактического и оперативного планирования развития математических моделей; – приемами оценки трудностей в сфере оптимизации.
ОПК-3	способность к разработке алгоритмических и программных решений в области системного и прикладного программирования, математических, информационных и имитационных моделей, созданию информационных ресурсов глобальных сетей, образовательного контента, прикладных баз данных, тестов и средств тестирования систем и средств на соответствие стандартам и исходным требованиям;	<p><u>Знать:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – Современные информационно-коммуникационные технологии и их роль на различных этапах изучения ТОУ в приложении к основным законам естественнонаучных дисциплин; – Особенности задач ТОУ в развитии современных информационно-коммуникационных технологий; – Роль современных информационно-коммуникационных технологий (ИКТ); <p><u>Уметь:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – Умеет с использованием современных информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), выполнять функции для задач оптимизации и Теории оптимального управления (ТОУ); – с использованием современных информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) принимать решения для понимания основных законов естественнонаучных дисциплин; – Управлять персоналом, планировать повышение квалификации в сфере ИКТ и оценивать эффективность управления. <p><u>Владеть:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – Основными приемами стратегического тактического и оперативного планирования развития современных ИКТ технологий в приложении к ТОУ; – Приемами оценки основных законов естественнонаучных дисциплин.

ПК-2	способность понимать, совершенствовать и применять современный математический аппарат.	<p><u>Знать:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – Знает основные принципы ТОУ и теории управления; <p><u>Уметь:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – использовать методы компьютерного моделирования, вычислительные методы при решении задач ТОУ. <p><u>Владеть:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – Владеет практическими навыками в области ТОУ и оптимального управления.
------	--	--

2. РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

2.1. Компетенция ОПК-1

ОПК-1: способность использовать базовые знания естественных наук, математики и информатики, основные факты, концепции, принципы теорий, связанных с прикладной математикой и информатикой

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Этапы формирования компетенции, применяемые для этого вида занятий и используемые средства оценивания, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	<ul style="list-style-type: none"> – Знать роль естественных наук, математики и информатики на различных этапах оптимизации, в том числе с использованием теории оптимального управления (ТОУ); – Знать концепции, принципы теорий, связанные с прикладной математикой и информатикой в рамках использования ТОУ и теории оптимизации; – Знать принципы построения естественнонаучных задач и возможности их оптимизации. 	<ul style="list-style-type: none"> – Уметь выполнять функции и использовать методы информационного менеджмента при построении задач естественных наук с применением ТОУ и методов оптимизации (МО); – принимать решения в сфере связанной с прикладной математикой и информатикой, выделять наиболее актуальные базовые параметры ; – управлять способностью использовать базовые знания естественных наук для задач ТОУ. 	<ul style="list-style-type: none"> – Владеть основными приемами стратегического тактического и оперативного планирования развития математических моделей; – приемами оценки трудностей в сфере оптимизации.
Виды занятий	<ul style="list-style-type: none"> – Лекции; – Практические занятия. 	<ul style="list-style-type: none"> – Практические занятия. 	<ul style="list-style-type: none"> – Практические занятия; – Самостоятельная работа студентов.
Используемые средства оценивания	<ul style="list-style-type: none"> – Тест; – Контрольная работа; – Зачет. 	<ul style="list-style-type: none"> – Подготовка и защита индивидуального домашнего задания; – Конспект самостоятельной работы. 	<ul style="list-style-type: none"> – Защита отчета индивидуальной работы; – Зачет.

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на всех этапах приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции по этапам

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
ОТЛИЧНО (высокий уровень)	Обладает фактическими и теоретическими знаниями в пределах изучаемой области с пониманием границ применимости	Обладает диапазоном практических умений, требуемых для развития творческих решений, абстрагирования проблем	Контролирует работу, проводит оценку, совершенствует действия работы

ХОРОШО (базовый уровень)	Знает факты, принципы, процессы, общие понятия в пределах изучаемой области	Обладает диапазоном практических умений, требуемых для решения определенных проблем в области исследования	Берет ответственность за завершение задач в исследовании, приспосабливает свое поведение к обстоятельствам в решении проблем
УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО (низкий уровень)	Обладает низким уровнем общих знаний	Обладает умениями на низком уровне, которые не достаточны для выполнения даже простых задач	Работает только при прямом наблюдении

Таблица 4 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
ОТЛИЧНО (высокий уровень)	<ul style="list-style-type: none"> – Знает, как и чем обеспечивается роль естественных наук, математики и информатики на различных этапах оптимизации, в том числе с использованием ТОУ; – Понимает концепции, принципы теорий, связанные с прикладной математикой и информатикой в рамках использования ТОУ и теории оптимизации; – Глубоко принципы построения естественнонаучных задач и возможности их оптимизации; – Знает, как использовать базовые знания естественных наук для задач ТОУ. 	<ul style="list-style-type: none"> – Умеет выполнять функции и использовать методы информационного менеджмента при построении задач естественных наук с применением ТОУ и методов оптимизации (МО); – Умеет принимать решения в сфере связанной с прикладной математикой и информатикой, выделять наиболее актуальные базовые параметры; – управлять способностью использовать базовые знания естественных наук для задач ТОУ. 	<ul style="list-style-type: none"> – Владеет основными приемами стратегического тактического и оперативного планирования развития математических моделей; – приемами оценки трудностей в сфере оптимизации; – Владеет методами математики и информатики для задач ТОУ и МО.
ХОРОШО (базовый уровень)	<ul style="list-style-type: none"> – Понимает роль современных МО и ТОУ на примерах; – Имеет представление о том, как сопровождаются процессы развития ИКТ ИС и к чему они могут помочь МО и ВИ; – Осознает роль современных ИКТ при решении естественных задач, математики и информатики; – Знает виды МО с использованием информационных систем и современных ИКТ. 	<ul style="list-style-type: none"> – Умеет корректно выразить и аргументированно обосновывать решения в данной сфере; – Умеет эффективно использовать принципы теорий, связанных с прикладной математикой и информатикой. 	<ul style="list-style-type: none"> – Владеет на хорошем уровне основными приемами только стратегического и тактического моделирования естественных задач; – Хорошо владеет приемами оценки затрат в сфере математики и информатики с использованием ТОУ.

<p>УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО (низкий уровень)</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Знает общие представления о том, как формируется оптимизация задач с ТОУ; – Понимает важную роль современных ТОУ для естественнонаучных задач; – Знает общие представления о том, что собой представляют концепции, принципы теорий, связанных с прикладной математикой и информатикой. 	<ul style="list-style-type: none"> – Умеет с использованием современных мат. методов для принятия наиболее важные решения в при постановке естественнонаучных задач. 	<ul style="list-style-type: none"> – Владеет основными приемами только стратегического планирования оптимизации с использованием ТОУ и МО; – Слабо владеет методами оценки затрат в сфере оптимизации и ТОУ.
--	---	---	--

2.2. Компетенция ОПК-3

ОПК-3: способность к разработке алгоритмических и программных решений в области системного и прикладного программирования, математических, информационных и имитационных моделей, созданию информационных ресурсов глобальных сетей, образовательного контента, прикладных баз данных, тестов и средств тестирования систем и средств на соответствие стандартам и исходным требованиям.

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания, представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

Состав	Знать	Уметь	Владеть
<p>Содержание этапов</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Знает современные информационно-коммуникационные технологии и их роль на различных этапах познания теории оптимального управления (ТОУ) в приложении к основным законам естественнонаучных дисциплин; – Знает особенности задач ТОУ в развитии современных информационно-коммуникационных технологий; – Знает роль современных информационно-коммуникационных технологий (ИКТ). 	<ul style="list-style-type: none"> – Умеет с использованием современных информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), выполнять функции для задач оптимизации и ТОУ; – Умеет с использованием современных информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) принимать решения для понимания основных законов естественнонаучных дисциплин; – Умеет управлять персоналом, планировать повышение квалификации в сфере ИКТ и оценивать эффективность управления. 	<ul style="list-style-type: none"> – Владеет основными приемами стратегического тактического и оперативного планирования развития современных ИКТ технологий в приложении кТОУ; – Владеет приемами оценки основных законов естественнонаучных дисциплин.
<p>Виды занятий</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Лекции; – Практические занятия. 	<ul style="list-style-type: none"> – Практические занятия. 	<ul style="list-style-type: none"> – Практические занятия; – Самостоятельная работа студентов.
<p>Используемые средства оценивания</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Тест; – Контрольная работа; – Зачет. 	<ul style="list-style-type: none"> – Подготовка и защита индивидуального домашнего задания; – Конспект самостоятельной работы. 	<ul style="list-style-type: none"> – Защита отчета индивидуальной работы; – Зачет.

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на всех этапах приведены в таблице 3.

Таблица 6 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
<p>ОТЛИЧНО (высокий уровень)</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Знает, как и чем обеспечивается оптимальное управление и зависимость оптимального управления от информационных ресурсов (технологическая и техническая) для решения задач естественнонаучных дисциплин с использованием теории оптимального управления (ТОУ); – Понимает важную роль современных ИКТ при для описания основных физических и технологических процессов и законов; – Глубоко понимает особенности ТОУ ИКТ и его использования в процессах оптимизации; – Знает, какие основные законы действуют на классах тех или иных задач, и как их можно оптимизировать. 	<ul style="list-style-type: none"> – Умеет с использованием современных ИКТ, выполнять математическое моделирование и оптимизацию процессов с использованием в ТОУ в естественно научных вопросах; – Умеет для любой задачи с использованием современных ИКТ принимать аргументированные решения с целью ее оптимизации; Умеет управлять персоналом (коллективом из 2-3 человек), планировать повышение квалификации в сфере ИС и современных ИКТ и оценивать эффективность своего управления по результатам деятельности работника в коллективе. 	<ul style="list-style-type: none"> – Владеет всеми приемами стратегического тактического и оперативного планирования развития современных ИКТ и ИС; – Способен применить приемы для оценки эффективности оптимизации для тех естественно научных задач; – Владеет методами оптимизации с использованием ТОУ.
<p>ХОРОШО (базовый уровень)</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Понимает управленческую роль современных ИКТ на некоторых этапах жизненного цикла ИС; – Имеет представление о том, как сопровождаются процессы развития ИКТ ИС и к чему они могут привести; – Осознает роль современных ИКТ при управлении оптимизацией в научной сфере; – Знает виды анализа оптимизации современных ИКТ. 	<ul style="list-style-type: none"> – Умеет корректно выражать и аргументированно обосновывать решения в информационной и технологической сфере; – Умеет эффективно использовать потенциал основных естественнонаучных законов. 	<ul style="list-style-type: none"> – Владеет на хорошем уровне основными приемами только технического планирования развития современных ИКТ и ИС; – Хорошо владеет приемами оценки оптимизации в сфере информатизации, но только при полной информации о проблеме.

<p>УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО (низкий уровень)</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Знает общие представления о том, как формируется оптимизация технологических задач с ИС; – Понимает важную роль современных ИКТ для естественнонаучных задач в информационной сфере; – Знает общие представления о том, что собой представляют информационные ресурсы. 	<ul style="list-style-type: none"> – Умеет с использованием современных ИКТ принимать наиболее важные решения при постановке естественнонаучных задач. 	<ul style="list-style-type: none"> – Владеет основными приемами только стратегического планирования оптимизации с использованием ИКТ и ИС; – Слабо владеет методами оценки затрат в сфере оптимизации и ТОУ.
--	--	---	--

2.3. Компетенция ПК-2

ПК-2: способность понимать, совершенствовать и применять современный математический аппарат.

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Этапы формирования компетенции, применяемые для этого вида занятий и используемые средства оценивания, представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	<ul style="list-style-type: none"> – Знает основные принципы теории оптимального управления и теории управления. 	<ul style="list-style-type: none"> – Умеет использовать методы компьютерного моделирования, вычислительные методы при решении задач теории оптимального управления. 	<ul style="list-style-type: none"> – Владеет практическими навыками в области теории оптимального управления и оптимального управления.
Виды занятий	<ul style="list-style-type: none"> – Лекции; – Практические занятия. 	<ul style="list-style-type: none"> – Практические занятия. 	<ul style="list-style-type: none"> – Практические занятия; – Самостоятельная работа студентов.
Используемые средства оценивания	<ul style="list-style-type: none"> – Тест; – Контрольная работа; – Зачет. 	<ul style="list-style-type: none"> – Подготовка и защита индивидуального домашнего задания; – Конспект самостоятельной работы. 	<ul style="list-style-type: none"> – Защита отчета индивидуальной работы; – Зачет.

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на всех этапах приведены в таблице 3.

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 8.

Таблица 8 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
ОТЛИЧНО (высокий уровень)	<ul style="list-style-type: none"> – Знает все основные методы ТОУ, все их типы и структуры, динамические и статические, этапы разработки и уточнения; – Знает, зачем необходима ТОУ, в каких ситуациях научных проблем и задач они нужны и когда нет; – Глубоко понимает особенности теории оптимального управления (ТОУ) в различных сферах; – Знает и понимает целый ряд понятий ТОУ к физике, механике, и т.д. 	<ul style="list-style-type: none"> – Умеет с использованием современных вычислительных систем проводить оптимальное управление; – Умеет разрабатывать и отлаживать эффективные методы ТОУ и прикладное программное обеспечение с использованием современных технологий программирования. 	<ul style="list-style-type: none"> – Владеет всеми приемами стратегического тактического и оперативного планирования развития современной ТОУ; – Способен применить приемы ТОУ при неполной информации об объекте; – Владеет основными методами ТОУ.
ХОРОШО (базовый уровень)	<ul style="list-style-type: none"> – Понимает роль современной ТОУ в науке и технологии; – Имеет представление о том, как создаются методы ТОУ и к чему они могут привести. 	<ul style="list-style-type: none"> – Умеет корректно выражать и аргументировано обосновывать решения необходимые для данных процессов. 	<ul style="list-style-type: none"> – Владеет на хорошем уровне основными приемами только базовой ТОУ; – Хорошо владеет приемами оценки качества ТОУ в рамках поставленной задачи.
УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО (низкий уровень)	<ul style="list-style-type: none"> – Знает общие представления о ТОУ; – Понимает важную роль ТОУ в информационной сферы и технологической сфере; – Знает общие представления о том, что собой представляет ТОУ. 	<ul style="list-style-type: none"> – Умеет с использованием ТОУ принимать наиболее важные решения в информационной, научной и технологической сфере. 	<ul style="list-style-type: none"> – Владеет основными приемами и методами ТОУ.

3. ТИПОВЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Для реализации вышеперечисленных задач обучения используются следующие материалы: типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, в составе, приведенном ниже.

3.1. Темы практических занятий

На практических занятиях студенты должны перевести решить задачу по переводу ракеты из одного состояния в другое по заданным условиям.

Научиться планировать оптимальное управление и синтезировать устройство управления.

- 1) Построить план траектории полета ракеты от космодрома до орбитальной станции, оптимальный по заданному критерию.
- 2) Описать физическую модель полета ракеты. Синтезировать устройство.
- 3) Записать математическую модель полета ракеты
- 4) Расписать требования на работу регулятора

- 5) Провести линеаризацию задачи
- 6) Написать программу визуализации полета ракеты
- 7) Написать программу управления написать программу УУ и ОУ
- 8) Выполнить тесты взлета ракеты
- 9) Моделирования полета и сдача темы

Станция расположена по координатам X_S, Y_S и наклонена под углом φ_S к оси OX . Перед стартом, ракета расположена по координатам $X(t_0), Y(t_0)$ и наклонена под углом $\varphi(t_0)$. Масса ракеты M , длина L . Максимальные силы, которые двигатели ракеты могут развивать: $\max F, \max F_B, \max F_L, \max F_R$ (см. табл. 11).

Таблица – Данные модели

№	Параметры модели					Начальные условия					
	M	L	$\max F$	$\max F_B$	$\max F_L$ $\max F_R$	$X(t_0)$	$Y(t_0)$	$\varphi(t_0)$	X_S	Y_S	φ_S
1	100	50	0.5	0.3	0.005	0	25	$\pi/2$	20000	10000	0
2	200	50	1	0.5	0.01	0	25	$\pi/2$	-20000	10000	π
3	100	50	0.5	0.3	0.005	0	25	$\pi/2$	-20000	10000	π
4	200	50	1	0.5	0.01	0	25	$\pi/2$	20000	10000	0
5	300	50	0.5	0.4	0.009	0	25	$\pi/2$	-20000	10000	π
6	200	50	1	0.5	0.01	0	25	$\pi/2$	20000	10000	0
7	300	50	0.5	0.4	0.008	0	25	$\pi/2$	20000	10000	0
8	200	50	1	0.5	0.01	0	25	$\pi/2$	-20000	10000	π
9	400	50	0.5	0.3	0.007	0	25	$\pi/2$	-20000	10000	π
10	400	50	1	0.4	0.01	0	25	$\pi/2$	20000	10000	0

Описание модели

Допущения:

- 1 модель ракеты – одномерный, однородный стержень длиной L массой M с центром масс по середине;
- 2 не учитываются силы притяжения к Земле;
- 3 не учитываются силы сопротивления атмосферы;
- 4 не учитывается: расход топлива ракеты;
- 5 масса ракеты постоянная величина.

Принимая во внимание допущение 1, момент инерции вращения ракеты относительно центра масс будет следующим:

$$J = M \frac{L^2}{12}$$

В качестве дискретной модели движения ракеты под действием сил двигателей взята следующая система уравнений:

$$\begin{cases} V_x(t) = A(t) \cos(\varphi(t - \Delta t)) \Delta t + V_x(t - \Delta t) \\ V_y(t) = A(t) \sin(\varphi(t - \Delta t)) \Delta t + V_y(t - \Delta t) \\ X(t) = V_x(t) \Delta t + X(t - \Delta t) \\ Y(t) = V_y(t) \Delta t + Y(t - \Delta t) \\ \omega(t) = \varepsilon(t) \Delta t + \omega(t - \Delta t) \\ \varphi(t) = \omega(t) \Delta t + \varphi(t - \Delta t) \end{cases}$$

где

$A(t) = (F(t) - F_B(t)) / M$ - ускорение ракеты под действием ускоряющего и тормозящего двигателей;

$\varepsilon(t) = (F_L(t) - F_R(t)) / J$

$\varepsilon(t) = \frac{(FL(t) - FR(t))L}{2} J$ - угловое ускорение ракеты под действием поворотных двигателей;

$V_x(t), V_y(t)$ - проекции вектора скорости на соответствующие оси координат;

$X(t), Y(t)$ - координаты ракеты;

$\omega(t)$ - угловая скорость ракеты;

$\varphi(t)$ - угол между направлением ракеты и осью OX ;

$F(t), F_B(t), F_L(t), F_R(t)$ - силы тяги двигателей ускоряющего, тормозящего, левого, и правого соответственно;

t - время с момента старта ракеты;

Δt - шаг изменения времени.

3.2. Вопросы для подготовки к теоретическому зачету (для студентов, которые не выполнили все контрольные работы и индивидуальные задания) по дисциплине «Теория оптимального управления»

- 1) Понятие об оптимальном управлении.
- 2) Основные задачи синтеза оптимальных САУ и их особенности.
- 3) Классификация оптимальных САУ.
- 4) Основные методы теории оптимального управления.
- 5) Необходимые условия экстремума функционала. Уравнения Эйлера -Лагранжа. Условия Вейерштрасса - Эрдемана.
- 6) Постановка задач синтеза САУ:
- 7) оптимальных по быстродействию; - оптимальных по расходу ресурсов;
- 8) с минимальной энергией управления; - с минимальными потерями управления.
- 9) Решение задач синтеза оптимальных САУ.
- 10) Теорема об интервалах.
- 11) Пример синтеза САУ, оптимальной по быстродействию.
- 12) Задача аналитического конструирования регуляторов (пример).
- 13) Геометрическая интерпретация принципа максимума Понтрягина.
- 14) Функция Гамильтона для автономной системы.
- 15) Основная теорема принципа максимума.
- 16) Функция Гамильтона для неавтономной системы.
- 17) Определение оптимальных по быстродействию управлений с помощью принципа максимума.
- 18) Вариационное исчисление. Основные понятия и определения.
- 19) Решение классической задачи вариационного исчисления о брахистохроне.
- 20) Геометрическая интерпретация принципа оптимальности Беллмана.
- 21) Решение дискретной задачи определения оптимальной траектории методом динамического программирования.
- 22) Синтез оптимальных дискретных САУ методом динамического программирования.
- 23) Формулировка принципа оптимальности Беллмана для непрерывных динамических систем.

- 24) Вывод уравнения Беллмана.
- 25) Достоинства метода динамического программирования.
- 26) Синтез САУ, оптимальной по расходу энергии управления методом динамического программирования (решение А.М. Летова).
- 27) Синтез алгоритма УУ САУ, оптимальной по расходу энергии управления (частный случай).
- 28) Синтез оптимального алгоритма управления двигателем постоянного тока методом динамического программирования (пример).

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Для обеспечения процесса обучения и решения задач обучения используются следующие материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций, в составе:

1. Карпов, А. Г. Теория автоматического управления. Часть 1: Учебное пособие для студентов направления подготовки "Управление в технических системах" 27.03.04 [Электронный ресурс] / Карпов А. Г. — Томск: ТУСУР, 2011. — 212 с. — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/6249>
2. Карпов, А. Г. Теория автоматического управления. Часть 2: Учебное пособие для студентов направления подготовки "Управление в технических системах" 27.03.04 [Электронный ресурс] / Карпов А. Г. — Томск: ТУСУР, 2012. — 264 с. — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/6251>

Учебно-методические пособия

1. Карпов, А. Г. Теория автоматического управления.: Учебное методическое пособие по проведению практических, лабораторных и самостоятельных занятий для студентов направления подготовки "Управление в технических системах" 27.03.04 [Электронный ресурс] / Карпов А. Г. — Томск: ТУСУР, 2016. — 105 с. — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/6250>
2. Шидловский, В. С. Теория автоматического управления: Учебно-методическое пособие к лабораторным работам [Электронный ресурс] / Шидловский В. С. — Томск: ТУСУР, 2012. — 24 с. — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/1135>
3. Карпов, А. Г. Современные проблемы теории управления: Учебное методическое пособие по самостоятельной работе, практическим занятиям и контрольным работам [Электронный ресурс] / Карпов А. Г. — Томск: ТУСУР, 2015. — 15 с. — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/6662>