

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Ястребов Олег Александрович  
Должность: Ректор  
Дата подписания: 02.06.2023 16:24:58  
Уникальный программный ключ:  
ca953a0120d891083f939673078ef1a989dae18a

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»**

**Инженерная академия**

(наименование основного учебного подразделения (ОУП)-разработчика ОП ВО)

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **МЕТОДЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ**

(наименование дисциплины/модуля)

**Рекомендована МССН для направления подготовки/специальности:**

### **27.03.04 УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

(код и наименование направления подготовки/специальности)

**Освоение дисциплины ведется в рамках реализации основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОП ВО):**

### **УПРАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ПРОЦЕССАМИ, МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ И КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ**

(наименование (профиль/специализация) ОП ВО)

**2023 г.**

## 1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Методы оптимального управления» входит в программу бакалавриата «Управление информационными процессами, машинное обучение и кибербезопасность» по направлению 27.03.04 «Управление в технических системах» и изучается в 6, 7 семестрах 3, 4 курсов. Дисциплину реализует . Дисциплина состоит из 3 разделов и 23 тем и направлена на изучение фундаментальных основ принципа максимума Л.С. Понтрягина, динамического программирования, численных методов оптимального управления, разбор основных методов решения типовых задач и знакомство с областью их применения в профессиональной деятельности.

Целью освоения дисциплины является формирование фундаментальных знаний и навыков применения методов решения задач, необходимых для профессиональной деятельности, повышение общего уровня грамотности студентов по методам управления.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «Методы оптимального управления» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций (части компетенций):

*Таблица 2.1. Перечень компетенций, формируемых у обучающихся при освоении дисциплины (результаты освоения дисциплины)*

| Шифр  | Компетенция   | Индикаторы достижения компетенции<br>(в рамках данной дисциплины)  |
|-------|---|--|
| УК-12 | Способен искать нужные источники информации и данные, воспринимать, анализировать, запоминать и передавать информацию с использованием цифровых средств, а также с помощью алгоритмов при работе с полученными из различных источников данными с целью эффективного использования полученной информации для решения задач; проводить оценку информации, ее достоверность, строить логические умозаключения на основании поступающих информации и данных | УК-12.1 Осуществляет поиск нужных источников информации и данных, воспринимает, анализирует, запоминает и передает информацию с использованием цифровых средств, а также с помощью алгоритмов при работе с полученными из различных источников данными с целью эффективного использования полученной информации для решения задач;<br>УК-12.2 Проводит оценку информации, ее достоверность, строит логические умозаключения на основании поступающих информации и данных;  |
| ОПК-3 | Способен применять и модифицировать математические модели для решения задач в области профессиональной деятельности   | ОПК-3.1 Знает теоретические основы и принципы математического моделирования;<br>ОПК-3.2 Умеет разрабатывать и использовать методы математического моделирования, информационные технологии для решения задач прикладной математики;<br>ОПК-3.3 Владеет практическими навыками решения задач прикладной математики, методами математического моделирования, информационными технологиями и основами их использования в профессиональной деятельности, навыками профессионального мышления и арсеналом методов и подходов, необходимыми для адекватного использования методов современной математики в теоретических и прикладных задачах; |
| ПК-1  | Способен собирать, обрабатывать и интерпретировать данные   | ПК-1.1 Знает современные методы того, как собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования  |

| Шифр | Компетенция   | Индикаторы достижения компетенции<br>(в рамках данной дисциплины)   |
|------|---|---|
|      | современных научных исследований, необходимые для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям, в том числе данные дистанционного зондирования Земли                   | выводов по соответствующим научным исследованиям;<br>ПК-1.2 Умеет применять современные методы и средства для обработки и интерпретации данные научных исследований;<br>ПК-1.3 Владеет основными навыками сбора, обработки и интерпретации данных современных научных исследований, необходимых для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям;  |
| ПК-4 | Способен формулировать, анализировать и решать инженерные задачи в области баллистики, механики движения и управления движением космических аппаратов на основе профессиональных знаний | ПК-4.1 Знает основные понятия и основные алгоритмы решения задач в области баллистики, механики движения и управления движением на основе автоматизированных и автоматических систем;<br>ПК-4.2 Умеет решать инженерные задачи аналитического характера в области баллистики, механики движения и управления движением космических аппаратов на основе профессиональных знаний;<br>ПК-4.3 Владеет навыками использования математических методов обработки информации, полученной в результате экспериментальных исследований, основными методами анализа механики движения и управления движением космических аппаратов на базе стандартных методик и пакетов программ; |

### 3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина «Методы оптимального управления» относится к обязательной части блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы высшего образования.

В рамках образовательной программы высшего образования обучающиеся также осваивают другие дисциплины и/или практики, способствующие достижению запланированных результатов освоения дисциплины «Методы оптимального управления».

*Таблица 3.1. Перечень компонентов ОП ВО, способствующих достижению запланированных результатов освоения дисциплины*

| Шифр  | Наименование компетенции  | Предшествующие дисциплины/модули, практики*   | Последующие дисциплины/модули, практики*             |
|-------|---|---|--|
| УК-12 | Способен искать нужные источники информации и данные, воспринимать, анализировать, запоминать и передавать информацию с использованием цифровых средств, а также с помощью алгоритмов при работе с полученными из различных источников данными с целью эффективного использования полученной информации для решения задач; проводить оценку информации, ее достоверность, строить логические умозаключения на основании поступающих информации и данных | Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы);<br>Информатика и программирование;<br>Анализ геоинформационных данных;<br>Теория автоматического управления; | Преддипломная практика;<br>Технологическая практика; |

| Шифр  | Наименование компетенции  | Предшествующие дисциплины/модули, практики*   | Последующие дисциплины/модули, практики*             |
|-------|---|---|--|
| ОПК-3 | Способен применять и модифицировать математические модели для решения задач в области профессиональной деятельности   | Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы);<br>Механика космического полета;<br>Алгебра и геометрия;<br>Теория вероятностей и математическая статистика;<br>Математический анализ;<br>Численные методы;<br>Дифференциальные уравнения;<br>Комплексный анализ;<br>Теоретическая механика;<br>Анализ геоинформационных данных;<br>Теория автоматического управления; | Преддипломная практика;<br>Технологическая практика; |
| ПК-1  | Способен собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям, в том числе данные дистанционного зондирования Земли | Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы);<br>Теория автоматического управления;<br><i>Дискретная математика**</i> ;<br><i>Discrete mathematics**</i> ;<br>Механика космического полета;<br>Информатика и программирование;<br>Теоретическая механика;<br>Анализ геоинформационных данных;<br>Численные методы;   | Преддипломная практика;<br>Технологическая практика; |
| ПК-4  | Способен формулировать, анализировать и решать инженерные задачи в области баллистики, механики движения и управления движением космических аппаратов на основе профессиональных знаний   | Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы);<br>Механика космического полета;<br>Теоретическая механика;  | Преддипломная практика;<br>Технологическая практика; |

\* - заполняется в соответствии с матрицей компетенций и СУП ОП ВО

\*\* - элективные дисциплины /практики

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Методы оптимального управления» составляет «6» зачетных единиц.

Таблица 4.1. Виды учебной работы по периодам освоения образовательной программы высшего образования для очной формы обучения.

| Вид учебной работы                               | ВСЕГО, ак.ч.   |            | Семестр(-ы) |            |
|--|----------------|------------|-------------|------------|
|  |                |            | 6           | 7          |
| <i>Контактная работа, ак.ч.</i>                  | 144            |            | 72          | 72         |
| Лекции (ЛК)                                      | 72             |            | 36          | 36         |
| Лабораторные работы (ЛР)                         | 72             |            | 36          | 36         |
| Практические/семинарские занятия (СЗ)            | 0              |            | 0           | 0          |
| <i>Самостоятельная работа обучающихся, ак.ч.</i> | 36             |            | 9           | 27         |
| <i>Контроль (экзамен/зачет с оценкой), ак.ч.</i> | 36             |            | 27          | 9          |
| <b>Общая трудоемкость дисциплины</b>             | <b>ак.ч.</b>   | <b>216</b> | <b>108</b>  | <b>108</b> |
|  | <b>зач.ед.</b> | <b>6</b>   | <b>3</b>    | <b>3</b>   |

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 5.1. Содержание дисциплины (модуля) по видам учебной работы

| Номер раздела | Наименование раздела дисциплины                                    | Содержание раздела (темы) |  | Вид учебной работы* |
|---------------|--|---------------------------|--|---------------------|
| Раздел 1      | Теория оптимального управления. Принцип максимума Л.С. Понтрягина. | 1.1                       | Постановка задач оптимального управления. Основные понятия. Примеры задач оптимального управления.   |                     |
|               |  | 1.2                       | Задачи со свободным правым концом траектории. Формула для приращения функционала.  |                     |
|               |  | 1.3                       | Принцип максимума Л.С. Понтрягина для задач со свободным правым концом. Формулировка и доказательство.   |                     |
|               |  | 1.4                       | Линейные задачи со свободным правым концом. Принцип максимума как необходимое и достаточное условие.   |                     |
|               |  | 1.5                       | Формулировка принципа максимума для различных классов задач оптимального управления: а) двухточечные задачи; б) задача оптимального быстродействия; в) задачи с краевыми условиями, условия трансверсальности; г) автономные и неавтономные системы; д) задачи с фиксированным и нефиксированным временем окончания процесса; е) задачи с интегральным и терминальным функционалом; ж) задачи с параметрами. |                     |
|               |  | 1.6                       | Примеры задач оптимального управления. Задача быстродействия.  |                     |
|               |  | 1.7                       | Понятие синтеза оптимального управления.   |                     |
|               |  | 1.8                       | Связь принципа максимума с классическим вариационным исчислением. Вывод уравнения Эйлера и условий Лежандра-Клебша из принципа максимума. Условие Якоби.   |                     |
| Раздел 2      | Динамическое программирование                                      | 2.1                       | Управляемые многошаговые процессы. Принцип оптимальности.  |                     |
|               |  | 2.2                       | Метод динамического программирования для многошаговых процессов управления.  |                     |
|               |  | 2.3                       | Метод динамического программирования для задач оптимального управления.  |                     |
|               |  | 2.4                       | Дифференциальное уравнение Беллмана. Постановка задач для уравнения Беллмана. Примеры.   |                     |
|               |  | 2.5                       | Связь метода динамического программирования с принципом максимума. Вывод условий трансверсальности при помощи метода динамического программирования.   |                     |
|               |  | 2.6                       | Линейные управляемые системы с квадратичным функционалом. Построение синтеза оптимального управления.  |                     |
| Раздел 3      | Численные методы оптимального управления                           | 3.1                       | Численные методы, основанные на приведении задач оптимального управления к краевым задачам при помощи принципа максимума.  |                     |
|               |  | 3.2                       | Использование методов решения систем алгебраических уравнений для решения краевых задач. Метод Ньютона и его модификации.  |                     |
|               |  | 3.3                       | Численные методы минимизации функций многих переменных. Понятие о линейном и нелинейном программировании. Градиентный  |                     |

| Номер раздела | Наименование раздела дисциплины | Содержание раздела (темы)   | Вид учебной работы* |
|---------------|---------------------------------|---|---------------------|
|               |                                 | метод. Метод штрафных функций.  |                     |
|               |                                 | 3.4 Численные методы, основанные на варьировании управляющих функций. Градиентный метод в пространстве управлений. Учет ограничений на управляющие функции. Учет краевых условий и фазовых ограничений методом штрафных функций. Учет краевых условий методом проектирования градиента. |                     |
|               |                                 | 3.5 Метод последовательных приближений в пространстве управляющих функций. Способы улучшения сходимости и модификации метода. Примеры.  |                     |
|               |                                 | 3.6 Метод малого параметра для слабоуправляемых систем.   |                     |
|               |                                 | 3.7 Численные методы, основанные на варьировании в пространстве фазовых координат. Метод динамического программирования. Полный и частичный перебор. Метод «блуждающей трубки».   |                     |
|               |                                 | 3.8 Понятие элементарной операции и приемы ее построения. Построение элементарной операции для задач динамики полета.   |                     |
|               |                                 | 3.9 Метод локальных вариаций. Применение метода локальных вариаций к различным вариационным задачам. Вариационные задачи с неаддитивными функционалами. Вариационные задачи в частных производных.  |                     |

\* - заполняется только по **ОЧНОЙ** форме обучения: ЛК – лекции; ЛР – лабораторные работы; СЗ – семинарские занятия.

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 6.1. Материально-техническое обеспечение дисциплины

| Тип аудитории | Оснащение аудитории  | Специализированное учебное/лабораторное оборудование, ПО и материалы для освоения дисциплины (при необходимости) |
|---------------|--|--|
| Лекционная    | Аудитория для проведения занятий лекционного типа, оснащенная комплектом специализированной мебели; доской (экраном) и техническими средствами мультимедиа презентаций.                  |  |
| Лаборатория   | Аудитория для проведения лабораторных работ, индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная комплектом специализированной мебели и оборудованием. |  |
| Семинарская   | Аудитория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации,   |  |

| Тип аудитории              | Оснащение аудитории  | Специализированное учебное/лабораторное оборудование, ПО и материалы для освоения дисциплины (при необходимости) |
|----------------------------|--|--|
|                            | оснащенная комплектом специализированной мебели и техническими средствами мультимедиа презентаций.   |  |
| Для самостоятельной работы | Аудитория для самостоятельной работы обучающихся (может использоваться для проведения семинарских занятий и консультаций), оснащенная комплектом специализированной мебели и компьютерами с доступом в ЭИОС. |  |

\* - аудитория для самостоятельной работы обучающихся указывается **ОБЯЗАТЕЛЬНО!**

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Основная литература:

1. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкредидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. М.: Наука, 1969.
2. Иванов В.А., Фалдин П.В. Теория оптимальных систем автоматического управления. М.: Наука, 1981. 336 с.
3. Ройтенберг Я.Н. Автоматическое управление, М.: Наука, 1971. 396 с.
4. Афанасьев В.Н., Колмановский В.Б., Носов В.Р. Математическая теория конструирования систем управления. М.: Высшая школа, 2003.

### Дополнительная литература:

1. Гельфанд И.М., Фомин С.В. Вариационное исчисление. М.: Физматлит, 1961.
2. Болтянский В.Г. Математические методы оптимального управления. М.: Наука, 1969.
3. Беллман Р., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования. М.: Наука, 1965.
4. Моисеев Н.Н. Элементы теории оптимальных систем. М.: Наука, 1975.
5. Черноусько Ф.Л., Баничук Н.В. Вариационные задачи механики и управления. Численные методы. М.: Наука, 1973.
6. Черноусько Ф.Л., Акуленко Л.Д., Соколов Б.Н. Управление колебаниями. М.: Наука, 1980.
7. Черноусько Ф.Л. Оценивание фазового состояния динамических систем. М.: Физматлит, 1988.
8. Черноусько Ф.Л., Ананьевский И.М., Решмин С.А. Методы управления нелинейными механическими системами. М.: Физматлит, 2006.
9. Chernousko F.L., Ananievski I.M., Reshmin S.A. Control of Nonlinear Dynamical Systems. Methods and Applications. Berlin, Heidelberg: Springer, 2008, 396 p.
10. Ли Э.Б., Маркус Л. Основы теории оптимального управления / Пер. с англ. М.: Наука, 1972. 576 с.
11. Понтрягин Л.С. Принцип максимума. М.: Фонд математического образования и просвещения, 1998.

### Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

1. ЭБС РУДН и сторонние ЭБС, к которым студенты университета имеют доступ на основании заключенных договоров



- Электронно-библиотечная система РУДН – ЭБС РУДН  
<http://lib.rudn.ru/MegaPro/Web>  
- ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <http://www.biblioclub.ru>  
- ЭБС Юрайт <http://www.biblio-online.ru>  
- ЭБС «Консультант студента» [www.studentlibrary.ru](http://www.studentlibrary.ru)  
- ЭБС «Троицкий мост»

## 2. Базы данных и поисковые системы

- электронный фонд правовой и нормативно-технической документации  
<http://docs.cntd.ru/>  
- поисковая система Яндекс <https://www.yandex.ru/>  
- поисковая система Google <https://www.google.ru/>  
- реферативная база данных SCOPUS

<http://www.elsevier.com/locate/elsevier/scopus/>

*Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся при освоении дисциплины/модуля\*:*

### 1. Курс лекций по дисциплине «Методы оптимального управления».

\* - все учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся размещаются в соответствии с действующим порядком на странице дисциплины **в ТУИС!**

## **8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА ОЦЕНИВАНИЯ УРОВНЯ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Оценочные материалы и балльно-рейтинговая система\* оценивания уровня сформированности компетенций (части компетенций) по итогам освоения дисциплины «Методы оптимального управления» представлены в Приложении к настоящей Рабочей программе дисциплины.

\* - ОМ и БРС формируются на основании требований соответствующего локального нормативного акта РУДН.

**РАЗРАБОТЧИК:**

Профессор

*Должность, БУП*



*Подпись*

Решмин Сергей  
Александрович

*Фамилия И.О.*

**РУКОВОДИТЕЛЬ БУП:**

Директор департамента  
механики и процессов  
управления

*Должность БУП*



*Подпись*

Разумный Юрий  
Николаевич

*Фамилия И.О.*

**РУКОВОДИТЕЛЬ ОП ВО:**

Профессор

*Должность, БУП*



*Подпись*

Разумный Юрий  
Николаевич

*Фамилия И.О.*