

Министерство образования и науки Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н. Туполева-КАИ»  
(КНИТУ-КАИ)



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по НиИД

Михайлов С.А.

«10» июня 2015

М.П.

АЧУ-А-103

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

*Б1.В.ОД.4 Методы оптимального управления*

Направление подготовки 09.06.01 Информатика и вычислительная техника

Профиль (направленность) 05.13.01 Системный анализ, управление и обработка информации

Квалификация выпускника Исследователь. Преподаватель-исследователь

Форма обучения Очная

Выпускающая кафедра Автоматики и управления

Кафедра-разработчик рабочей программы Автоматики и управления

| Год обучения | Трудоем-<br>кость<br>час. | Лекций,<br>час. | Практич.<br>занятий,<br>час. | Лаборат.<br>работ,<br>час. | СРС,<br>час. | Форма контроля<br>(экз., час./зачет) |
|--------------|---------------------------|-----------------|------------------------------|----------------------------|--------------|--------------------------------------|
| 3            | 108                       | 54              |                              |                            | 54           | зачет                                |
| Итого        | 108                       | 54              |                              |                            | 54           | зачет                                |

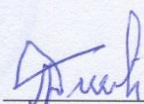


Программа разработана в соответствии с требованиями Федерального закона от 29.12.2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации», ФГОС ВО Уровень высшего образования подготовка кадров высшей квалификации, направление подготовки 09.06.01 Информатика и вычислительная техника, (утвержден приказом Минобрнауки России №892 от 30.07.2014 г.) ) (в ред. приказа Минобрнауки России от 30.04.2015 N 464); Положением «О порядке организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» (КНИТУ-КАИ) и учебного плана направления подготовки 09.06.01 Информатика и вычислительная техника, направленность 05.13.01 Системный анализ, управление и обработка информации.

Составитель рабочей программы:

Проф., проф., д.т.н.

(должность, ученое звание, степень)



(подпись)

01.06.2015

(дата)

Дегтярев Г.Л.

(ФИО)

Рабочая программа утверждена на заседании кафедры:

Автоматики и управления

(наименование кафедры-разработчика)

Протокол №10 от 01.06.2015

(дата и номер протокола)

зав. кафедрой-разработчика



(подпись)

01.06.2015

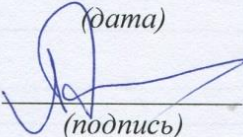
(дата)

Дегтярев Г.Л.

(ФИО)

Директор Института АиЭП

(на котором осуществляется обучение)



(подпись)

01.06.2015

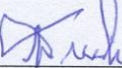
(дата)

Ференец А.В.

(ФИО)

СОГЛАСОВАНО:

Зав. выпускающей кафедрой



(подпись)

01.06.2015

(дата)

Дегтярев Г.Л.

(ФИО)

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Требования к результатам освоения дисциплины .....                                                                                                        | 4  |
| 2. Место дисциплины в структуре ОП.....                                                                                                                      | 5  |
| 3. Структура и содержание дисциплины .....                                                                                                                   | 5  |
| 3.1. Структура дисциплины .....                                                                                                                              | 5  |
| 3.2. Содержание дисциплины .....                                                                                                                             | 6  |
| 4. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине .....                                                      | 8  |
| 5. Образовательные технологии .....                                                                                                                          | 8  |
| 6. Формы контроля освоения дисциплины .....                                                                                                                  | 9  |
| 6.1. Перечень оценочных средств для текущего контроля освоения дисциплины .....                                                                              | 9  |
| 6.2. Состав фонда оценочных средств для проведения контроля аспирантов по дисциплине .....                                                                   | 9  |
| 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины .....                                                                                         | 9  |
| 7.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы .....                                                                                             | 9  |
| 7.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет".....                                                                               | 10 |
| 7.3. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине .....                                        | 10 |
| 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины.....                                                                                                       | 10 |
| 9. Кадровое обеспечение дисциплины.....                                                                                                                      | 11 |
| 10. Лист регистрации изменений, вносимых в рабочую программу учебной дисциплины .....                                                                        | 12 |
| 11. Лист утверждения рабочей программы дисциплины на учебный год .....                                                                                       | 13 |
| Приложение 1. Аннотация рабочей программы .....                                                                                                              | 14 |
| Приложение 2. Методические указания для самостоятельной работы обучающихся .....                                                                             | 15 |
| Приложение 3. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины .....                                                                             | 18 |
| Приложение 4. Фонд оценочных средств, перечень заданий для проведения контроля освоения, а также методические указания для проведения контроля освоения..... | 19 |

# 1. Требования к результатам освоения дисциплины

(Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине определяется требованиями к результатам освоения ОП.)

Таблица 1.

## Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

| Планируемые результаты освоения ОПОП (компетенции), достижение которых обеспечивает дисциплина |                                                                                                                                                                      | Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Коды компетенции                                                                               | Содержание компетенций                                                                                                                                               | Знать:<br>Уметь:<br>Владеть:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| ОПК-4                                                                                          | Способность профессионально излагать результаты своих исследований и представлять их в виде научных публикаций, информационно-аналитических материалов и презентаций | Знать: требования и правила оформления отчетов и презентаций<br>Уметь: грамотно представлять результаты исследований.<br>Владеть: современными компьютерными средствами для представления результатов исследования.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| ОПК-5                                                                                          | Владение научно-предметной областью знаний                                                                                                                           | Знать:<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• основные понятия из области теории оптимального управления;</li> <li>• основные методы решения задач оптимизации;</li> <li>• вариационные исчисления;</li> <li>• принцип максимума Понтрягина;</li> <li>• динамическое программирование;</li> <li>• численные методы оптимизации.</li> </ul> Уметь:<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• самостоятельно изучать научную литературу, систематизировать отечественный и зарубежный опыт разработки и создания оптимальных динамических систем;</li> <li>• использовать основные методы оптимизации динамических систем.</li> </ul> Владеть:<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• современными методами, алгоритмами и программными средствами оптимизации динамических систем.</li> </ul> |
| ОПК-6                                                                                          | Готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам ВО                                                                                | Знать:<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• основные понятия и определения из области оптимизации;</li> <li>• основные методы оптимизации динамических систем.</li> </ul> Уметь:<br>разрабатывать алгоритмы решения и оптимизации инженерных задач и проектов.<br>Владеть                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | современными методами, алгоритмами и программными средствами оптимизации динамических систем.                                                                                                                                                                                                             |
| ПК-1 | Способностью к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и получению научных результатов, удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по направленности (научной специальности) 05.13.01. Системный анализ, управление и обработка информации. | Знать:<br>современные методы и достижения в области оптимизации систем управления<br>Уметь:<br>ставить и самостоятельно решать задачи оптимизации динамических систем управления.<br>Владеть:<br>современными методами, алгоритмами и программными средствами оптимизации динамических систем управления. |
| ПК-2 | Владение методологией исследования теоретических и прикладных проблем в области системного анализа, управления и обработки информации с использованием современных информационно-коммуникационных технологий.                                                                                                                      | Знать:<br>• возможности методов оптимизации динамических систем;<br>Уметь применять методы оптимизации динамических систем для повышения качества инженерных проектов.<br>Владеть методологией построения оптимальных систем для разработки и реализации проектов.                                        |

## 2. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина Методы оптимального управления относится к *вариативной* части блока 1 учебного плана. Является обязательной дисциплиной.

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1. Структура дисциплины

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 3 зачетных единицы (ЗЕТ), 108 академических часов.

Таблица 2.

Объем дисциплины по видам учебных занятий

| Вид учебной работы                    | Общая трудоемкость |            | Семестр : 5 |            |
|---------------------------------------|--------------------|------------|-------------|------------|
|                                       | в час              | в ЗЕ       | в час       | в ЗЕ       |
| <b>Общая трудоемкость дисциплины</b>  | <b>108</b>         | <b>3</b>   | <b>108</b>  | <b>3</b>   |
| <b>Аудиторные занятия</b>             | <b>54</b>          | <b>1,5</b> | <b>54</b>   | <b>1,5</b> |
| Лекции                                | 54                 | 1,5        | 54          | 1,5        |
| Практические (ПЗ)                     |                    |            |             |            |
| Лабораторные работы (ЛР)              |                    |            |             |            |
| <b>Самостоятельная работа (всего)</b> | <b>54</b>          | <b>1,5</b> | <b>54</b>   | <b>1,5</b> |

|                                                                                   |                  |                  |                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| В том числе:<br>Проработка учебного материала<br>Подготовка доклада и презентации | <b>36<br/>18</b> | <b>1<br/>0,5</b> | <b>36<br/>18</b> | <b>1<br/>0,5</b> |
| <b>Подготовка к промежуточной аттестации</b>                                      |                  |                  |                  |                  |
| Вид аттестации                                                                    |                  |                  | Зачет            |                  |

### Распределение учебной нагрузки по разделам дисциплины

Таблица 3.

| № модуля образовательной программы | № раздела | Наименование раздела дисциплины                    | Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы |                      |                     |                        |             |
|------------------------------------|-----------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------|---------------------|------------------------|-------------|
|                                    |           |                                                    | Лекции                                        | Практические занятия | Лабораторные работы | Самостоятельная работа | Всего часов |
|                                    | 1         | Вариационные исчисления                            | 12                                            |                      |                     | 12                     | 24          |
|                                    | 2         | Принцип максимума Понтрягина                       | 8                                             |                      |                     | 8                      | 16          |
|                                    | 3         | Метод динамического программирования               | 8                                             |                      |                     | 8                      | 16          |
|                                    | 4         | Оптимальное управление в условиях неопределенности | 14                                            |                      |                     | 14                     | 28          |
|                                    | 5         | Численные методы оптимизации                       | 12                                            |                      |                     | 12                     | 24          |
| ИТОГО:                             |           |                                                    | 54                                            |                      |                     | 54                     | 108         |

### 3.2. Содержание дисциплины

#### Лекционный курс

Таблица 4.

| № лекции | Номер раздела | Тема лекции и перечень дидактических единиц*                                                             | Трудоемкость, часов |
|----------|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1        | 1             | Функции сравнения, меры близости, понятие функционала. Постановка задачи оптимального управления.        | 2                   |
|          | 2             | Необходимые и достаточные условия относительного экстремума, простейшая задача вариационного исчисления. | 2                   |
|          | 3             | Вариационные задачи с нефиксированными границами, условия трансверсальности.                             | 2                   |
|          | 4             | Вариационные задачи на условиях экстремума.                                                              | 2                   |
|          | 5             | Разрывные задачи вариационного исчисления.                                                               | 2                   |
|          | 6             | Решение оптимизационных задач методами вариационного исчисления                                          | 2                   |
| 2        | 7             | Формулировка принципа максимума Понтрягина                                                               | 2                   |
|          | 8             | Принцип максимума Понтрягина. Доказательство и выводы                                                    | 2                   |
|          | 9             | Принцип максимума для задачи с закрепленными граничными условиями                                        | 2                   |
|          | 10            | Задача на максимально быстрое действие                                                                   | 2                   |



|        |    |                                                                                                 |    |
|--------|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3      | 11 | Принцип оптимальности Беллмана                                                                  | 2  |
|        | 12 | Основное уравнение метода динамического программирования                                        | 2  |
|        | 13 | Задача аналитического проектирования оптимальных регуляторов                                    | 2  |
|        | 14 | Основное уравнение метода динамического программирования для дискретных систем                  | 2  |
| 4      | 15 | Характеристики случайных процессов                                                              | 2  |
|        | 16 | Уравнения моментов для линейных непрерывных систем                                              | 2  |
|        | 17 | Уравнения моментов для дискретных систем                                                        | 2  |
|        | 18 | Задача оптимального структурного синтеза. Уравнение Винера-Хопфа                                | 2  |
|        | 19 | Фильтр Калмана-Бьюси                                                                            | 2  |
|        | 20 | Задача идентификации и методы ее решения                                                        | 2  |
|        | 21 | Задача параметрической идентификации и ее решение методом функций чувствительности              | 2  |
| 5      | 22 | Постановка задачи минимизации функций, методы безусловной оптимизации, прямые методы            | 2  |
|        | 23 | Градиентные методы оптимизации                                                                  | 2  |
|        | 24 | Методы многомерной оптимизации при наличии ограничений. Задачи математического программирования | 2  |
|        | 25 | Решение задачи выпуклого программирования                                                       | 2  |
|        | 26 | Задачи математического программирования со смешанными ограничениями                             | 2  |
|        | 27 | Численные методы решения систем нелинейных уравнений                                            | 2  |
| Итого: |    |                                                                                                 | 54 |

### Практические занятия

Таблица 5.

| № занятия | Номер раздела | Наименование практического занятия и перечень дидактических единиц | Трудоемкость, часов |
|-----------|---------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------|
|           |               | Не предусмотрены                                                   |                     |
|           |               |                                                                    |                     |
|           |               |                                                                    |                     |
| ИТОГО:    |               |                                                                    |                     |

### Лабораторные работы

Таблица 6.

| № занятия | Номер раздела | Наименование лабораторной работы и перечень дидактических единиц | Трудоемкость, часов |
|-----------|---------------|------------------------------------------------------------------|---------------------|
|           |               | Не предусмотрены                                                 |                     |
|           |               |                                                                  |                     |
| ИТОГО:    |               |                                                                  |                     |

### Самостоятельная работа аспиранта

Таблица 7.

| Раздел дисциплины | № п/п | Вид самостоятельной работы аспиранта и перечень дидактических единиц                 | Трудоемкость, часов |
|-------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1                 | 1.1   | Проработка материала лекций                                                          | 6                   |
|                   | 1.2   | Формирование индивидуального задания, соответствующего диссертационному исследованию | 4                   |

|                     |     |                                                                     |           |
|---------------------|-----|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2                   | 2.1 | Проработка материала лекций и литературы                            | 4         |
|                     | 2.2 | Анализ устойчивости с помощью функций Ляпунова                      | 4         |
| 3                   | 3.1 | Проработка лекционного материала и литературы                       | 4         |
|                     | 3.2 | Поиск методов решения индивидуального задания                       | 6         |
| 4                   | 4.1 | Проработка лекционного материала и литературы                       | 7         |
|                     | 4.2 | Разработка программного обеспечения решения индивидуального задания | 5         |
| 5                   | 5.1 | Проработка лекционного материала и литературы                       | 6         |
|                     | 5.2 | Подготовка презентации доклада по индивидуальному заданию           | 6         |
|                     | 5.3 | Обсуждение результатов решения индивидуального задания              | 2         |
| <b>ВСЕГО ЧАСОВ:</b> |     |                                                                     | <b>54</b> |

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

Самостоятельная работа аспиранта по дисциплине представляет собой:

- формирование и усвоение содержания конспекта лекций на базе рекомендованной лектором учебной литературы, включая информационные образовательные ресурсы (электронные учебники, электронные библиотеки и др.);
- выполнение заданий в виде решения отдельных задач, проведения типовых расчетов, расчетно-компьютерных и индивидуальных работ по отдельным разделам содержания дисциплин;
- подготовка доклада и составление презентации на заданные темы.

Для углубленного изучения тем курса рекомендуется воспользоваться конспектами лекций и учебниками, представленными в списке основной и дополнительной литературы, информационными ресурсами сети Интернет, он-лайн каталогам научной периодики. На самостоятельную проработку выносятся вопросы по каждой лекции по усмотрению преподавателя.

Доклад по теме дисциплины (перечень примерных тем приводится в приложении 2 к рабочей программе) должен продемонстрировать способностей соискателя самостоятельно анализировать и интерпретировать прочитанную литературу, идентифицировать конкретную проблему, проводить анализ путей ее решения, предложить их варианты и выбрать оптимальный.

В компьютерной презентации внимание акцентируется на содержании, логике изложения, изобразительной наглядности, математической модели, результатам анализа и компьютерного моделирования, максимальной практической направленности решения задачи анализа устойчивости и управления конкретным электромеханическим объектом.

*Методические указания в т.ч. для самостоятельной работы обучающихся, подготовки доклада и презентации и методические указания для обучающихся по освоению дисциплины приводятся в Приложении 2 и Приложении 3 к рабочей программе.*

#### 5. Образовательные технологии

При изложении лекционного материала используются технологии изложения теоретического материала, подкрепленного разъяснениями и комментариями на конкретных прикладных примерах реализации. При этом активно используются компьютерная, проекционная техника и презентации, ориентирующие на последовательное изложение материала при разборе конкретных ситуаций проблемного характера.



## 6. Формы контроля освоения дисциплины

### 6.1. Перечень оценочных средств для текущего контроля освоения дисциплины

**Текущий контроль** аспирантов производится в дискретные временные интервалы лектором в следующих формах:

- устные опросы;
- задания на самостоятельную работу;
- подготовка доклада и презентации.

### 6.2. Состав фонда оценочных средств для проведения контроля аспирантов по дисциплине

Контроль по дисциплине проходит в форме выступления с докладом с представлением презентации и зачета. Перечень заданий для самостоятельной работы, подготовки доклада и презентации, а также методические указания для выполнения самостоятельной работы, подготовки доклада и презентации приводятся в Приложении 2 к рабочей программе. Перечень вопросов к зачету приводятся в Приложении 4 к рабочей программе.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 7.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Таблица 10.

#### Основная литература

| № п/п | Учебник, учебное пособие, монография (приводится библиографическое описание учебника, учебного пособия, монографии)                                                                                                     | Ресурс НТБ КНИТУ-КАИ | Кол-во экз. |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------|
| 1.    | <i>Оптимизация технических систем: учебное пособие /Островский Г.М., Зиятдинов Н.Н., Лаптева Т.В. – М.:КНОРУС, 2012.</i>                                                                                                | Печ.                 | Эл. ресурс  |
| 2.    | <i>Благодатских В.И. Введение в оптимальное управление. Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2001.</i>                                                                                                                  | Печ                  | 3           |
| 3.    | <i>Востриков А.С., Французова Г.А. Теория автоматического регулирования. Учебное пособие – М.: Высшая школа, 2006.</i>                                                                                                  | Печ                  | 5           |
| 4.    | <i>Методы классической и современной теории автоматического управления. Синтез регуляторов и теория оптимизации систем автоматического управления. / Под ред. Н.Д. Егунова – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2000.</i> | Печ                  | 1           |
| 5.    | <i>Дегтярев Г.Л. Оптимальное управление. – Учебное пособие (рукопись) 2014.</i>                                                                                                                                         | НЭБ                  | Эл. ресурс  |
| 6.    | <i>Schiittler H.,Ledzewicz U. Geometric Optimal Control: theory, methods and examples// Berlin – Verlag, 2012. – 650 p.</i>                                                                                             | НЭБ                  | Эл. ресурс  |
| 7.    | <i>Keesman K.J. System identification: an introduction//London Spriger. 2011. – 323 p.</i>                                                                                                                              |                      |             |

### Дополнительная литература

| № п/п | Учебник, учебное пособие, монография, справочная литература (приводится библиографическое описание )                | Ресурс НТБ КНИТУ-КАИ | Кол-во экз.     |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------|
| 1.    | <i>Егоров А.И. Основы теории управления. – М.: Физматгиз. 2004.</i>                                                 | печ                  | 2               |
| 2.    | <i>Дегтярев Г.Л., Ризаев И.С. Синтез локально-оптимальных алгоритмов управления ЛА. – М.: Машиностроение, 1991.</i> |                      | интернет ресурс |

**Периодические издания:** список включает перечень необходимых отраслевых периодических изданий по профилю дисциплины, имеющихся в НТБ КНИТУ-КАИ:

- Журналы Автоматика и телемеханика, Известия РАН, Теория и системы управления.
- Газеты: Поиск.

#### 7.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет»

*Профессиональные базы данных (в том числе международные реферативные базы данных научных изданий) и информационные справочные системы.*

*В НТБ КНИТУ-КАИ представлены базы данных:*

*Русскоязычные*

*- [POLPRED.COM](http://POLPRED.COM) - лучшие статьи информагентств и деловой прессы*

*- [ВИНИТИ](http://VINITI)*

*- [КонсультантПлюс](http://КонсультантПлюс) (правовые документы) - доступ с ПК в Медиацентре (ауд. 42)*

*- [РОСПАТЕНТ](http://РОСПАТЕНТ)*

*- Кодекс (официальные документы, ГОСТы и др.)*

*- [eLIBRARY.RU](http://eLIBRARY.RU) (НЭБ - Научная электронная библиотека)*

*Зарубежные*

*- [ScienceDirect](http://ScienceDirect) (Elsevier) - естественные науки, техника, медицина и общественные науки.*

*- [Scopus](http://Scopus) - база данных рефератов и цитирования*

*- [SpringerLink](http://SpringerLink) - химия и материаловедение, компьютерные науки, биологические науки, бизнес и экономика, экология, инженерия, гуманитарные и социологические науки, математика и статистика, медицина, физика и астрономия, архитектура и дизайн.*

*- [The American Physical Society](http://The American Physical Society) – ведущие физические журналы мира.*

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

1. чтение лекций с использованием слайд-презентаций
2. использование специализированных (Пакет Matlab) и офисных (MS Office) программ для демонстрации
3. организация взаимодействия с обучающимися посредством электронной почты

### 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

#### 1. Лекционные занятия:

- комплект электронных презентаций/слайдов,
- аудитория №416 учебное здание 3, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер),

## 2. Прочее ВЦ, учебное здание 3:

- рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет,
- рабочие места аспирантов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде

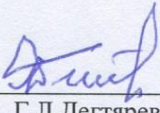
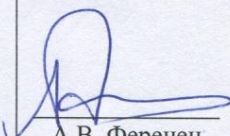
## 9. Кадровое обеспечение дисциплины

Реализация дисциплины обеспечивается руководящими и научно-педагогическими работниками университета, а также лицами, привлекаемыми к реализации программы аспирантуры на условиях гражданско-правового договора, имеющими учёную степень и ученое звание, использующими методы оптимального управления в своей научно-производственной и учебно-исследовательской работе.



# 10. Лист регистрации изменений, вносимых в рабочую программу учебной дисциплины Методы оптимального управления

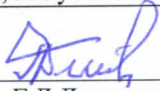
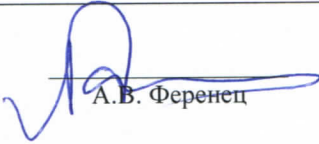
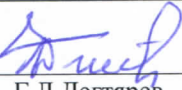
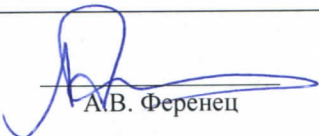
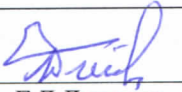
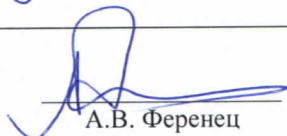
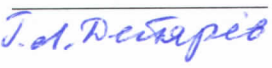
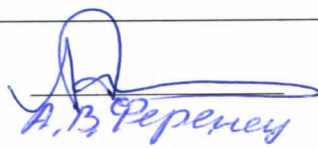
В рабочую программу дисциплины «Методы оптимального управления» внесены следующие изменения:

| № п/п | № страницы внесения изменений | Дата внесения изменений | Содержание изменений                                                                                                                                                                                                                                                                | «Согласовано» заведующий кафедрой АиУ (ведущая, выпускающая кафедра)                               | «Согласовано» директор института АиЭП                                                               |
|-------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Титульный лист                | 26.01.2016              | В соответствии с Уставом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» (новая редакция) исключить слово «профессионального» из полного названия | <br>Г.Л.Дегтярев | <br>А.В. Ференец |
|       |                               |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                     | _____                                                                                              | _____                                                                                               |
|       |                               |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                     | _____                                                                                              | _____                                                                                               |
|       |                               |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                     | _____                                                                                              | _____                                                                                               |
|       |                               |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                     | _____                                                                                              | _____                                                                                               |



## 11. Лист утверждения рабочей программы дисциплины на учебный год

Рабочая программа дисциплины «Методы оптимального управления» утверждена для ведения учебного процесса в учебном году:

| № п/п | Учебный год | “Согласовано”<br>заведующий кафедрой АиУ<br>(ведущая, выпускающая кафедра)                          | “Согласовано”<br>директор института АиЭП                                                             |
|-------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | 2015/2016   | <br>Г.Л.Дегтярев   | <br>А.В. Ференец  |
| 2     | 2016/2017   | <br>Г.Л.Дегтярев   | <br>А.В. Ференец  |
| 3     | 2017/2018   | <br>Г.Л.Дегтярев   | <br>А.В. Ференец  |
| 4.    | 2018/2019   | <br>Г.Л.Дегтярев | <br>А.В. Ференец |
|       |             | _____                                                                                               | _____                                                                                                |

## Аннотация рабочей программы

Дисциплина *Методы оптимального управления* является частью Б1.В.ОД.4 блока дисциплин подготовки аспирантов по направлению подготовки 09.06.01. Дисциплина реализуется в Институте автоматике и электронного приборостроения кафедрой Автоматики и управления.

Требования к уровню освоения содержания дисциплины.

Дисциплина нацелена на формирование **общепрофессиональных** ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6 и профессиональных ПК-1, ПК-2 **компетенций** выпускника.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с изучением фундаментальных проблем и математических методов оптимального управления и динамических систем.

В частности изучаются вариационное исчисление, принцип максимума Понтрягина и метод динамического программирования, являющиеся фундаментальной основой решения оптимизационных задач проектирования и производства эффективной техники и технологий.

Особое внимание уделяется изучению методов и средств управления в условиях неопределенности.

Значительно внимание уделяется изучению численных методов оптимизационных задач, к которым часто приводятся реальные технико-экономические задачи оптимизации.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, самостоятельная работа аспиранта, консультации, подготовка докладов и презентации.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: текущий контроль успеваемости в форме опроса и итоговый контроль в форме выступления с докладом и зачета.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часов. Программой дисциплины предусмотрены лекционные 54 часа и 54 часа самостоятельной работы аспиранта.

### Методические указания для самостоятельной работы обучающихся

Для успешного осуществления самостоятельной работы необходимы:

1. Комплексный подход к организации самостоятельной работы по всем формам аудиторной работы;
2. Сочетание нескольких видов самостоятельной работы;
3. Обеспечение контроля за качеством усвоения.

Виды самостоятельной работы:

- для овладения знаниями: чтение текста (учебника, дополнительной литературы, научных публикаций); составление плана текста; графическое изображение структуры текста; конспектирование текста; работа со словарями и справочниками; работа с нормативными документами; учебно-исследовательская работа; использование аудио- и видеозаписей; компьютерной техники, Интернет и др.;
- для закрепления и систематизации знаний: работа с конспектом лекции (обработка текста); аналитическая работа с фактическим материалом (учебника, дополнительной литературы, научных публикаций, аудио- и видеозаписей); составление плана и тезисов ответа; составление таблиц и схем для систематизации фактического материала; ответы на контрольные вопросы; аналитическая обработка текста (аннотирование, рецензирование, реферирование и др.); подготовка сообщений к выступлению на семинаре, конференции; подготовка рефератов, докладов; составление библиографии; тестирование и др.;
- для формирования умений: решение задач и упражнений по образцу; решение вариативных задач и упражнений; решение ситуационных производственных (профессиональных) задач; исследовательская работа.

Отдельно следует выделить подготовку к зачету, защитах как особый вид самостоятельной работы. Основное его отличие от других видов самостоятельной работы состоит в том, что обучающиеся решают задачу актуализации и систематизации учебного материала, применения приобретенных знаний и умений в качестве структурных элементов компетенций, формирование которых выступает целью и результатом освоения образовательной программы.

В образовательном процессе КНИТУ-КАИ применяются два вида самостоятельной работы – аудиторная под руководством преподавателя и по его заданию и внеаудиторная - по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

*Основными видами самостоятельной работы обучающихся с участием преподавателей являются:*

- текущие консультации;
- опрос как форма контроля освоения теоретического содержания дисциплин;
- прием и разбор презентаций;
- заслушивание докладов с их обсуждением.

*Основными видами самостоятельной работы обучающихся без участия преподавателей являются:*

- формирование и усвоение содержания конспекта лекций на базе рекомендованной лектором учебной литературы, включая информационные образовательные ресурсы (электронные учебники, электронные библиотеки и др.);
- выполнение заданий в виде решения отдельных задач, проведения типовых расчетов, расчетно-компьютерных и индивидуальных работ по отдельным разделам содержания дисциплин и т.д.;
- подготовка доклада и составление презентаций на заданную тему.

Самостоятельная работа способствует:

- углублению и расширению знаний;
- формированию интереса к самостоятельной научно-исследовательской деятельности;
- овладению приёмами процесса познания;

- развитию познавательных способностей.

Самостоятельная работа аспирантов имеет основную цель – обеспечить качество подготовки выпускаемых специалистов в соответствии с требованиями к основной образовательной программе послевузовского профессионального образования по направлению 27.06.01.

### ***Темы заданий для самостоятельной работы аспиранта***

Темы заданий для самостоятельной работы аспиранта, подготовки доклада и презентации подбираются на основе диссертационного исследования, являясь его элементом, имеющим научную новизну и практическую значимость.

### ***Рекомендации к подготовке доклада и презентации***

Самостоятельная работа должна свидетельствовать о готовности аспиранта к разработке и применению современных численных методов оптимизации в процессе научного исследования.

Доклад представляется устно а презентация представляется в электронном виде.

Доклад должен быть рассчитан на 10-12 мин. В содержании доклада должны быть отражены такие вопросы по теме как: постановка задачи оптимизации; обоснование выбора метода решения; описание численного метода, его программная реализация; анализ полученного решения оптимизационной задачи; заключение; использованные источники.

Чтобы подготовить достойный доклад, надо подобрать материал из разных источников, достаточно глубоко изучить проработать его, поскольку свободно рассказывать можно только о том, о чем знаешь в несколько раз больше, чем озвучиваешь.

Презентация не заменяет, а дополняет доклад. Не надо приводить на слайдах то, что Вы собираетесь сказать словами. Обратное тоже верно: при докладе никогда не зачитывайте текст со слайда! Возможное исключение – если презентация по-английски, и Вы не уверены в Вашем устном английском, имеет смысл сделать слайды самодостаточными, вынеся на них весь (слегка сокращенный) текст доклада.

Не все равно, каким программным продуктом пользоваться для подготовки презентации. Наиболее распространен сегодня MS PowerPoint. Но, например, если презентация подготовлена не в TeX, то слушатели-математики могут не воспринять доклад всерьез.

Презентация начинается с аннотации, где на одном-двух слайдах дается представление, о чем пойдет речь. Первый слайд должен содержать название доклада, ФИО и координаты (организация/подразделение, адрес электронной почты) выступающего. Правила хорошего тона предполагают еще указание на первом (да и на каждом) слайде названия мероприятия. Каждый слайд должен иметь заголовок и быть пронумерованным в формате 1/12.

Оптимальная скорость переключения один слайд - за 1–2 минуты, на лекциях - до 5 минут. Для кратких выступлений допустимо два слайда в минуту, но не быстрее. Слушатели должны успеть воспринять информацию и со слайда, и на слух. «Универсальная» оценка – число слайдов равно продолжительности выступления в минутах.

Размер шрифта основного текста на слайдах – не менее 16pt, заголовки  $\geq 20$  pt. Наиболее читабельным является шрифт Arial. Оформляйте все слайды в едином стиле (в TeX многое из упомянутого делается «автоматически»).

Не перегружайте слайд информацией. Не делайте много мелкого текста. При подготовке презентации рекомендуется в максимальной степени использовать графики, схемы, диаграммы и модели с их кратким описанием. Фотографии и рисунки делают представляемую информацию более интересной и помогают удерживать внимание аудитории, давая возможность ясно понять суть предмета. Длинные перечисления или большие таблицы с числами бессмысленны – лучше постройте графики.

Готовую презентацию надо просмотреть внимательно несколько раз «свежим» взглядом; каждый раз будете находить по несколько опечаток, ошибок или «некрасивостей».

Если Вы чувствуете себя хоть немного неуверенно перед аудиторией, или выступление очень ответственное, то напишите и выучите свою речь наизусть. Озвучивание одной страницы (формат A4, шрифт 14pt, полуторный интервал) занимает 2 минуты. Потренируйтесь выступать с вашей презентацией.



Следите за временем!

Речь и слайды не должны совпадать. Речь должна быть более популярна и образна. Слайды могут содержать больше «технических» подробностей: формулы, схемы, таблицы, графики. Всегда подписывайте оси (какая переменная и ее размерность).

Нельзя читать формулы и обозначения («икс», «зет и джитое с тильдой» и т.п.) – рассказывайте на качественном уровне! Возможное исключение – рассказ на рабочем семинаре перед коллегами «технических» результатов.

В серьёзных научных презентациях не следует использовать эффекты анимации и излишнее «украшательство».

## Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

| Вид учебных занятий                                                                 | Организация деятельности аспиранта                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Лекция                                                                              | Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на практическом занятии. |
| Индивидуальные задания для самостоятельной работы, подготовки доклада и презентации | Знакомство с основной и дополнительной литературой, включая справочные издания, зарубежные источники, конспект основных положений, терминов, сведений, требующих для запоминания и являющихся основополагающими в этой теме. Математическая постановка задачи. Обоснование и выбор метода решения задачи оптимизации. Разработка алгоритмов и программная реализация в пакете MATLAB. Компьютерное исследование и моделирование. Получение результатов и их визуализация. Оформление презентации. Подготовка к докладу и выступление.                                                               |
| Подготовка к зачету                                                                 | При подготовке к зачету необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу и др.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

## Приложение 4.

Фонд оценочных средств включает перечень следующих вопросов

1. Понятие функционала, виды функционалов.
2. Понятие меры близости функций, абсолютного и относительного минимума.
3. Необходимое условие относительного минимума.
4. Основная лемма вариационного исчисления.
5. Уравнение Эйлера (для заданного функционала).
6. Условие трансверсальности (для конкретного случая).
7. Условный экстремум, виды связей, методы решения.
8. Решение задачи при изопериметрических условиях.
9. Необходимые и достаточные условия относительного минимума.
10. Условие Лежандра.
11. Формулировка принципа максимума Понтрягина (случай функционала Майера и свободного правого конца).
12. Формулировка принципа максимума Понтрягина (случай функционала Лагранжа и свободного правого конца).
13. Формулировка принципа максимума Понтрягина (случай максимального быстродействия).
14. Принцип оптимальности Беллмана.
15. Основное уравнение метода динамического программирования.
16. Задача аналитического конструирования оптимальных регуляторов.
17. Постановка задачи фильтрации и её решения методом Коллмана.
18. Теория разделения.
19. Принципы методов численного поиска минимума функции многих переменных .
20. Негradientные методы поиска минимума функции многих переменных? Их преимущества и недостатки.
21. Метод покоординатного спуска.
22. Алгоритм градиентного метода и наискорейшего спуска.
23. Численные методы нахождения экстремума функции многих переменных с ограничениями в форме равенств и неравенств.
24. Методы штрафных функций и барьерных функций.
25. Решение задачи математического программирования.
26. Решение задачи выпуклого программирования.

## Задачи

На зачете аспирант получает 2 вопроса и задачу из приведенного списка. При ответах на вопросы следует четко сформулировать решаемую задачу, показать знание существующих методов для ее решения, умение грамотно излагать свои мысли, аргументировать выбор подходящих подходов и методов, показать умение применять метода для решения задач.

Найти кратчайшее расстояние между прямой  $y = x - 1$  и кривой  $y = x^2$

1. Найти кратчайшее расстояние между кривыми  $y = x^2 + 1$  и  $y^2 = x - 1$ .

2. Найти минимум функционала  $I = \int_0^1 y'^2 dt$  при условии  $I_1 - \int_0^1 y(t) dt = c_1$ , где  $c_1$  -

заданное положительное число.

3. Для объекта, описываемого уравнением

$$\frac{dy}{dt} = ay + bu, \quad t \in [0, T],$$

найти уравнение  $u(t)$ :  $u \leq 1$ , минимизирующее  $I = y(T)$ , где  $a, b, T$  – заданные числа.

4. Найти управление  $u(t)$ , переводящее точку из начального состояния  $(y(0) = y_0, y'(0) = y'_0)$  в начало координат в кратчайшее время, если она описывается уравнением

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = u$$

при ограничениях  $|u| \leq 1$ ,  $y_0, y'_0$  – заданные числа.

5. Записать уравнение стационарного фильтра Калмана для оценки координат тела

$$I \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = M(t)$$

при измерении углового положения с ошибкой  $v(t)$ , т.е.  $z = \varphi(t) + v(t)$ , где  $I$  – момент инерции тела,  $M(t)$  и  $v(t)$  – случайные процессы типа белого шума с интенсивностями  $q$  и  $r$  соответственно. ( $I = 900$ ,  $r = 1,2$ ,  $q = 0,001$ ).

6. Для уравнения объекта

$$\frac{dy}{dt^2} = ay + bu, \quad (y(0) = y_0, \quad t \in [0, T])$$

Найти управление, минимизирующее функционал

$$I = \int_0^T (cy^2 + mu^2) dt, \quad c > 0, \quad m > 0.$$

7. Найти минимум функции  $f(x) = \frac{4}{x_1} + \frac{9}{x_2} + x_1 + x_2$  при условиях:

$$\begin{cases} x_1 + x_2 - 4 \leq 0, \\ x_1 \geq 0, \\ x_2 \geq 0 \end{cases}.$$