

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ВШТЭ



## Рабочая программа дисциплины

**Б1.В.ДВ.01.02**

Оптимальные и адаптивные системы управления  
технологическими процессами

Учебный план: \_\_\_\_\_ ФГОС3++zm150404-123\_24-13.plx

Кафедра:  Информационно-измерительных технологий и систем управления

Направление подготовки: \_\_\_\_\_  
(специальность) 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Профиль подготовки: \_\_\_\_\_  
(специализация) Системы автоматизации и управления технологическими процессами

Уровень образования: \_\_\_\_\_  
магистратура

Форма обучения: \_\_\_\_\_  
заочная

### План учебного процесса

| Семестр<br>(курс для ЗАО) |     | Контактная работа обучающихся |                   | Сам.<br>работа | Контроль,<br>час. | Трудоёмкость,<br>ЗЕТ | Форма<br>промежуточной<br>аттестации |
|---------------------------|-----|-------------------------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------------|--------------------------------------|
|                           |     | Лекции                        | Практ.<br>занятия |                |                   |                      |                                      |
| 1                         | УП  | 4                             | 8                 | 123            | 9                 | 4                    | Экзамен                              |
|                           | РПД | 4                             | 8                 | 123            | 9                 | 4                    |                                      |
| Итого                     | УП  | 4                             | 8                 | 123            | 9                 | 4                    |                                      |
|                           | РПД | 4                             | 8                 | 123            | 9                 | 4                    |                                      |

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств, утверждённым приказом Минобрнауки России от 25.11.2020 г. № 1452

Составитель (и):

Кандидат технических наук, доцент

Ремизова И.В.

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой информационно-измерительных технологий и систем управления

Сидельников В.И.

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

Сидельников В.И.

Методический отдел:

## 1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1 Цель дисциплины:** Сформировать компетенции обучающегося в области изучения основ теории автоматических систем идентификационного и прямого адаптивного управления линейными одно- и многомерными объектами. Изучение детерминированных и стохастических вычислительных алгоритмов адаптации. Изучение основ и методов исследования, расчета и проектирования оптимальных систем автоматического управления производственными процессами.

### 1.2 Задачи дисциплины:

- Изучение методов оптимального и адаптивного управления и области их применения.
- Формирование навыков проведения анализа и синтеза типовых функциональных схем адаптивных и оптимальных систем управления, в том числе с применением многослойных обучаемых нейронных сетей.
- Приобретение теоретических знаний и практических навыков по эксплуатации адаптивных и оптимальных систем управления

### 1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Предварительная подготовка предполагает создание основы для формирования компетенций, указанных в п. 2, при изучении дисциплин:

Организационно-экономическое проектирование инновационных процессов

Метрологическое и информационное обеспечение систем автоматизации и управления

Информационно-измерительные системы и устройства

## 2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

| <b>ПК-5: Способен осуществлять контроль разработки и управление разработкой АСУП в своей профессиональной деятельности</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Знать:</b> методы и приемы формализации задач; прикладные программы управления проектами: наименования, возможности и порядок работы в них; требования к техническому, математическому, программному, лингвистическому, эргономическому, обеспечению компонентов АСУП. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Уметь:</b> использовать прикладные программы управления проектами для контроля разработки, внедрения и результатов работы оригинальных компонентов АСУП; проверять достоверность информационной базы и интеграцию информационной базы с другими объектами АСУП. |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Владеть:</b> навыками контроля выполнения заданий на проектирование оригинальных компонентов АСУП; контроля достижения целей проектировании оригинальных компонентов АСУП; верификации информационной модели данных АСУП. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### 3 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Семестр<br>(курс для<br>ЗАО) | Контактная<br>работа |               | СР<br>(часы) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------------------|---------------|--------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                              | Лек.<br>(часы)       | Пр.<br>(часы) |              |
| Раздел 1. Оптимальное управление                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 1                            |                      |               |              |
| Тема 1. Методы решения оптимизационных задач<br>Методы классического вариационного исчисления. Безусловный экстремум функционала, уравнения Эйлера, Эйлера-Пуассона. Задача на условный экстремум. Задача с подвижными концами траектории. Достаточные условия экстремума функционала. Принцип максимума. Связь принципа максимума и классического вариационного исчисления. Численные методы определения оптимального управления. Метод динамического программирования. Свойства оптимальной траектории, принцип оптимальности. Динамическое программирование. Функциональное уравнение Беллмана. |                              | 0,5                  | 2             | 15           |
| Тема 2. Системы управления, оптимальные по быстродействию<br>Оптимальные по быстродействию алгоритмы управления. Определение оптимального по быстродействию алгоритма управления. Теорема об $n$ интервалах. Численные методы расчета оптимального по быстродействию управления. Синтез оптимальных по быстродействию систем управления. Применение пространства состояний для синтеза поверхности переключения. Определение функции переключения. Применение метода обратного движения из конечной точки.                                                                                         |                              | 0,5                  | 2             | 15           |
| Тема 3. Системы, оптимальные по расходу ресурсов и расходу энергии<br>Определение оптимального алгоритма по критерию расхода ресурсов. Условия вырожденности оптимального по расходу ресурсов управления. Оптимизация по критерию расхода энергии. Оптимизация по критерию расхода ресурсов.                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                              | 0,5                  |               | 15           |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |      |   |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|------|---|-------|
| Тема 4. Системы, оптимальные по квадратичному критерию<br>Оптимальное управление для задачи Больца с фиксированным временем перехода. Уравнение Риккати, его свойства. Оптимизация по критерию обобщенной работы. Оптимальные по квадратичному критерию дискретные системы управления. Определение оптимального алгоритма методом динамического программирования. Дискретное уравнение Риккати, его свойства. Свойства замкнутой системы с оптимальным регулятором. Численные методы расчета оптимального регулятора. |  | 0,5  |   | 16    |
| Раздел 2. Основы адаптивного управления                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |  |      |   |       |
| Тема 5. Понятие об адаптивном управлении<br>Постановка задач адаптивного управления. Формальное определение адаптивной системы и адаптивного регулятора. Схема решения задач адаптивного управления.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  | 0,5  |   | 15    |
| Тема 6. Алгоритмы адаптации<br>Конечно-сходящиеся алгоритмы решения рекуррентных неравенств. Алгоритмы стохастической аппроксимации. Алгоритмы скоростного градиента. Детерминированные вычислительные алгоритмы. Алгоритмы статистической оптимизации в задачах адаптивного управления. Метод байесовского оценивания.                                                                                                                                                                                               |  | 0,5  | 2 | 16    |
| Раздел 3. Синтез адаптивных систем управления                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |      |   |       |
| Тема 7. Адаптивное управление линейными динамическими объектами<br>Математические модели объектов управления, примеры технических объектов, целевые условия в адаптивных системах. Синтез адаптивного регулятора.                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  | 0,5  | 2 | 15    |
| Тема 8. Адаптивное управление дискретными стохастическими объектами<br>Алгоритмы стохастической аппроксимации и их акселерация. Синтез дискретных адаптивных систем управления с обобщенным настраиваемым объектом.                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  | 0,5  |   | 16    |
| Итого в семестре (на курсе для ЗАО)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  | 4    | 8 | 123   |
| Консультации и промежуточная аттестация (Экзамен)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  | 2,5  |   | 6,5   |
| <b>Всего контактная работа и СР по дисциплине</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  | 14,5 |   | 129,5 |

#### 4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Курсовое проектирование учебным планом не предусмотрено

#### 5. ОПИСАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, КРИТЕРИЕВ, СИСТЕМЫ И СРЕДСТВ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

## 5.1 Показатели оценивания

| Код компетенции | Показатели оценивания результатов обучения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-5            | <p>1. Ориентируется в назначении, требованиях и возможностях оптимальных и адаптивных систем управления производством.</p> <p>2. Выполняет исследование свойств систему управления и автоматизации для дальнейшей их модернизации.</p> <p>3. Обладает навыками разработки систем автоматизации и управления, в которых параметры объекта изменяются неизвестным образом.</p> |

## 5.2 Система и критерии оценивания

| Шкала оценивания           | Критерии оценивания сформированности компетенций                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                            | Устное собеседование                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Письменная работа                                                                                                                                                                                                                               |
| 5 (отлично)                | <p>Ответ студента содержит:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>глубокое знание программного материала, а также основного содержания и новаций лекционного курса, по сравнению с учебной литературой;</li> <li>знание концептуально-понятийного аппарата всего курса;</li> <li>знание монографической литературы по курсу,</li> </ul> <p>а также свидетельствует о способности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>самостоятельно критически оценивать основные положения курса;</li> <li>увязывать теорию с практикой.</li> </ul> <p>Оценка «отлично» не ставится в случаях систематических пропусков студентом занятий по неуважительным причинам, а также неправильных ответов на дополнительные вопросы преподавателя.</p> | <p>Работа выполнена в полном объеме с соблюдением требуемой последовательности действий, самостоятельно. Правильно выбраны параметры и оборудование. Выполнены условия и режимы, обеспечивающие получение правильных результатов и выводов.</p> |
| 4 (хорошо)                 | <p>Ответ студента свидетельствует:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>о полном знании материала по программе;</li> <li>о знании рекомендованной литературы,</li> </ul> <p>а также содержит в целом правильное, но не всегда точное и аргументированное изложение материала.</p> <p>Оценка «хорошо» не ставится в случаях пропусков студентом семинарских и лекционных занятий по неуважительным причинам.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <p>Выполнены требования к оценке «отлично», но было допущено два-три недочета, не более одной негрубой ошибки и одного недочета.</p>                                                                                                            |
| 3 (удовлетворительно)      | <p>Ответ студента содержит:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>поверхностные знания важнейших разделов программы и содержания лекционного курса;</li> </ul> <p>затруднения с использованием научно-понятийного аппарата и терминологии курса;</p> <p>стремление логически четко построить ответ, а также свидетельствует о возможности последующего обучения.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <p>Работа выполнена не полностью но объем выполненной части таков, что позволяет получить правильный результат и вывод; если в ходе выполнения приема были допущены ошибки.</p>                                                                 |
| 2<br>(неудовлетворительно) | <p>Ставится студенту, имеющему существенные пробелы в знании основного материала по программе, а также допустившему принципиальные ошибки при изложении материала.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <p>Работа выполнена не полностью и объем выполненной части работ не позволяет сделать правильных выводов; если приемы выполнялись неправильно.</p>                                                                                              |

### 5.3 Типовые контрольные задания и/или иные материалы, используемые для оценки результатов обучения

#### 5.3.1 Типовые контрольные вопросы

| № п/п  | Формулировки вопросов                                                               |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Курс 1 |                                                                                     |
| 1      | Синтез дискретных адаптивных систем управления с обобщенным настраиваемым объектом. |
| 2      | Алгоритмы стохастической аппроксимации и их акселерация.                            |
| 3      | Синтез адаптивного регулятора.                                                      |
| 4      | Целевые условия в адаптивных системах.                                              |
| 5      | Математические модели объектов управления, примеры технических объектов.            |
| 6      | Метод байесовского оценивания.                                                      |
| 7      | Алгоритмы статистической оптимизации в задачах адаптивного управления.              |
| 8      | Детерминированные вычислительные алгоритмы.                                         |
| 9      | Алгоритмы скоростного градиента.                                                    |
| 10     | Алгоритмы стохастической аппроксимации.                                             |
| 11     | Конечно-сходящиеся алгоритмы решения рекуррентных неравенств.                       |
| 12     | Схема решения задач адаптивного управления.                                         |
| 13     | Формальное определение адаптивной системы и адаптивного регулятора.                 |
| 14     | Постановка задач адаптивного управления.                                            |
| 15     | Численные методы расчета оптимального регулятора.                                   |
| 16     | Свойства замкнутой системы с оптимальным регулятором.                               |
| 17     | Дискретное уравнение Риккати, его свойства.                                         |
| 18     | Определение оптимального алгоритма методом динамического программирования.          |
| 19     | Оптимальные по квадратичному критерию дискретные системы управления.                |
| 20     | Оптимизация по критерию обобщенной работы.                                          |
| 21     | Уравнение Риккати, его свойства.                                                    |
| 22     | Оптимальное управление для задачи Больца с фиксированным временем перехода.         |
| 23     | Оптимизация по критерию расхода энергии.                                            |
| 24     | Условия вырожденности оптимального по расходу ресурсов управления.                  |
| 25     | Определение оптимального алгоритма по критерию расхода ресурсов.                    |
| 26     | Применение метода обратного движения из конечной точки.                             |
| 27     | Определение функции переключения.                                                   |
| 28     | Применение пространства состояний для синтеза поверхности переключения.             |
| 29     | Синтез оптимальных по быстродействию систем управления.                             |
| 30     | Численные методы расчета оптимального по быстродействию управления.                 |
| 31     | Теорема об $n$ интервалах.                                                          |
| 32     | Определение оптимального по быстродействию алгоритма управления.                    |
| 33     | Оптимальные по быстродействию алгоритмы управления.                                 |
| 34     | Функциональное уравнение Беллмана                                                   |
| 35     | Динамическое программирование.                                                      |
| 36     | Свойства оптимальной траектории, принцип оптимальности.                             |
| 37     | Метод динамического программирования.                                               |
| 38     | Численные методы определения оптимального управления.                               |
| 39     | Связь принципа максимума и классического вариационного исчисления.                  |
| 40     | Принцип максимума.                                                                  |
| 41     | Достаточные условия экстремума функционала.                                         |
| 42     | Задача с подвижными концами траектории.                                             |
| 43     | Задача на условный экстремум.                                                       |
| 44     | Безусловный экстремум функционала, уравнения Эйлера, Эйлера-Пуассона.               |
| 45     | Методы классического вариационного исчисления                                       |

### 5.3.2 Типовые тестовые задания

Не предусмотрено

### 5.3.3 Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы)

1. Дано описание автономной системы в пространстве состояний. Требуется проверить устойчивость системы вторым методом Ляпунова, решив матричное уравнение. Определить знак матрицы критерием Сильвестра.
2. Решить уравнение Риккати с параметром.

## 5.4 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения

### 5.4.1 Условия допуска обучающегося к промежуточной аттестации и порядок ликвидации академической задолженности

Проведение промежуточной аттестации регламентировано локальным нормативным актом СПбГУПТД «Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся»

### 5.4.2 Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Устная ☐ Письменная ☐ Компьютерное тестирование ☐ Иная ☐

### 5.4.3 Особенности проведения промежуточной аттестации по дисциплине

При проведении экзамена время, отводимое на подготовку к ответу, составляет не более 40 мин. Использование мобильных телефонов и подобных устройств во время экзамена запрещено.

В течении семестра выполняется контрольная работа.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1 Учебная литература

| Автор                                                                                       | Заглавие                                                                                                 | Издательство                                                            | Год издания | Ссылка                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>6.1.1 Основная учебная литература</b>                                                    |                                                                                                          |                                                                         |             |                                                                                                                                 |
| Гайдук, А. Р.,<br>Плаксиенко, Е. А.                                                         | Адаптивные системы управления                                                                            | Ростов-на-Дону, Таганрог: Издательство Южного федерального университета | 2018        | <a href="http://www.iprbookshop.ru/87697.html">http://www.iprbookshop.ru/87697.html</a>                                         |
| Энтин В. Я.                                                                                 | Теория автоматического управления. Синтез систем автоматического регулирования технологических процессов | Санкт-Петербург: СПбГУПТД                                               | 2017        | <a href="http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2017702">http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2017702</a> |
| <b>6.1.2 Дополнительная учебная литература</b>                                              |                                                                                                          |                                                                         |             |                                                                                                                                 |
| Плешивцева, Ю. Э.,<br>Афиногентов, А. А.                                                    | Моделирование и оптимальное управление объектами с распределенными параметрами                           | Самара: Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ      | 2017        | <a href="http://www.iprbookshop.ru/90634.html">http://www.iprbookshop.ru/90634.html</a>                                         |
| Рубан, А. И.                                                                                | Адаптивные системы управления с идентификацией                                                           | Красноярск: Сибирский федеральный университет                           | 2015        | <a href="http://www.iprbookshop.ru/84314.html">http://www.iprbookshop.ru/84314.html</a>                                         |
| Балашова, Е. А.,<br>Барметов, Ю. П.,<br>Битюков, В. К.,<br>Хромых, Е. А.,<br>Битюков, В. К. | Оптимальное управление в технических системах. Практикум                                                 | Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий  | 2017        | <a href="http://www.iprbookshop.ru/74014.html">http://www.iprbookshop.ru/74014.html</a>                                         |

### 6.2 Перечень профессиональных баз данных и информационно-справочных систем

Электронно-библиотечная система IPRbooks [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iprbookshop.ru/>

Электронная библиотека ВШТЭ СПб ГУПТД [Электронный ресурс]. URL: <http://nizrp.narod.ru>

Электронно-библиотечная система «Айбукс» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ibooks.ru/>

Информационный сайт «Автоматизация в промышленности» [Электронный ресурс]. URL: <https://avtprom.ru/>

### **6.3 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения**

MicrosoftWindows 8

MicrosoftOfficeProfessional 2013

PTC Mathcad 15

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

| Аудитория            | Оснащение                                                                                                                                                               |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Лекционная аудитория | Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска                                                                                                           |
| Компьютерный класс   | Мультимедийное оборудование, компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду |