МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«Забайкальский государственный университет»

(ФГБОУ ВО «ЗабГУ»)

Энергетический факультет

Кафедра технических систем и робототехники

**УЧЕБНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

**для студентов заочной формы обучения**

*(с полной формой обучения)*

по дисциплине «Теория автоматического управления»

для направления подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических

процессов и производств

Общая трудоемкость дисциплины – 4 зачетные единицы.

Форма текущего контроля в семестре – контрольная работа.

Курсовая работа (курсовой проект) (КР, КП) – нет.

Форма промежуточного контроля в семестре – экзамен.

Чита 2022

**Краткое содержание курса**

1. Введение в ТАУ. История науки.
2. Классификация и анализ систем. Основы теории систем.
3. Математические модели систем.
4. Устойчивость регуляторов. Критерии устойчивости линейных систем.
5. Качество регулирования.
6. Нелинейные регуляторы.
7. Оптимальные регуляторы.
8. Цифровые САУ.

**Лабораторные занятия\***

|  |
| --- |
| 1. Структурные преобразования и вывод общей передаточной функции САР.
 |
| 1. Построение амплитудно-частотных характеристик САР.
 |
| 1. Исследование САУ стабилизации и слежения.
 |
| 1. Устойчивость САР. Критерии устойчивости.
 |
| 1. Исследование САУ методом математического моделирования.
 |
| 1. Исследование динамических звеньев САУ.
 |
| 1. Расчет параметров статического регулятора.
 |
| 1. Расчет параметров быстродействия оптимального регулятора.
 |

\*Назначение тематики и количества практических работ производится с учетом количества выделенных часов.

**Форма текущего контроля – контрольная работа**

Контрольная работа состоит из одного задания. Оно выполняется в письменной форме. Задание выбирается из соответствующей задачи, номер которой соответствует номеру варианта студента. Номер варианта определяется по последней цифре шифра зачетной книжки.

Контрольная работа выполняется в рукописном виде в тетради или в печатном варианте на формате А4. **Оформление письменной работы согласно МИ 4.2-5/47-01-2013** [Общие требования к построению и оформлению учебной текстовой документации](http://zabgu.ru/files/html_document/pdf_files/fixed/Normativny%27e_dokumenty%27_i_obrazcy%27_zayavlenij/Obshhie_trebovaniya_k_postroeniyu_i_oformleniyu_uchebnoj_tekstovoj_dokumentacii.pdf).

# Контрольная работа (заочная форма обучения).

#  Исследование работоспособности объекта управления с ПИ-регулятором

## 1. Цель работы

Ознакомиться с методикой структурных преобразований для составления эквивалентной передаточной функции системы автоматического регулирования (САР) с обратной связью и ПИ-регулятором.

На основании выражения общей передаточной функции САР научиться получать общее дифференциальное уравнение САР.

Освоить методику исследования устойчивости замкнутой САР по критерию А.В. Михайлова.

## 2 . Упрощение структурной схемы объекта управления и вывод формулы его эквивалентной передаточной функции

Зачастую объект имеет достаточно сложную структуру, каждый из элементов которой известен, и задача построения математической модели объекта сводится к определению его дифференциального уравнения или уравнения всей системы в целом.

Предположим, что объект обладает следующей структурой (рис. 9.1).

–

2

+

 +

–

3

1

4

Рис. 1. Структурная схема анализируемого объекта управления

Элементы структуры описываются выражениями следующего вида в порядке их номеров:

1. ; (2) ; (3) ; (4) .

Первоначально необходимо записать уравнения элементов в операторной форме и их передаточные функции.

; ; ; .

Соответственно, передаточные функции будут иметь вид

; ; ; .

Затем следует поэтапно упростить систему объекта, используя правила преобразования передаточных функций для последовательного, параллельного или встречно-параллельного соединения динамических звеньев, а также для звеньев, имеющих единичные обратные связи.

Структурную схему на рис. 9.1 можно упростить в несколько этапов. Вначале заменим эквивалентными элементами последовательное соединение звеньев 3, 4 и параллельную цепь со звеном 1 и представим соединения эти звеньев в виде обобщенного звена 3-4-1, охваченного единичной обратной связью (рис. 9.2).

3-4-1

–

Рис. 2. Образование эквивалентного звена *W*3-4-1(*p*) правой части исходной схемы

Такая замена возможна по схеме:

а) ;

б) .

Охват эквивалентного звена 3-4-1 единичной отрицательной обратной связью можно также упростить, заменив его на другое эквивалентное звено, используя известные правила преобразования

 (1)

Таким образом, мы придем к схеме, приведенной на рис. 9.3.



+

2

Рис. 9.3. Образование единого эквивалентного
звена в правой части схемы

В левой части схемы осталось звено 2, охваченное положительной обратной связью. В соответствии с правилами преобразования его эквивалентным звеном будет звено

 (2)

В результате такого шага мы будем иметь структуру с двумя последовательно соединенными звеньями  и .

Тогда общая передаточная функция объекта с исходный схемой, приведенной на рис. 9.1 будет иметь вид

 (3)

Подставим все операторные формулы составляющих звеньев в полученные выражения

.

В соответствии с формулой (9.1)

.

В соответствии с формулой (9.2)

.

Тогда, в соответствии с формулой (9.3) передаточная функция объекта будет соответствовать следующему выражению

,

что после преобразований приведет к виду

 (4)

В соответствии с правилом обратного преобразования передаточной функции в дифференциальное уравнение, можно реализовать обратное преобразование.

Тогда .

или

.

или, в дифференциальной форме

. (5)

Выражение (9.5) является математической моделью поведения объекта в динамике.

## 3. Общая модель системы «Объект- ПИ-регулятор»

Для стабильной и устойчивой работы объектов они снабжаются пропорционально-интегрирующими регуляторами (иначе ПИ-регуляторами). Необходимо сразу заметить, что не все объекты могут обрести устойчивость при их соединении с ПИ-регуляторами. Для решения задачи устойчивости, во-первых, применяются специальные методики расчета параметров ПИ-регуляторов, во-вторых, исследуются причины неустойчивости самих объектов и, соответствующим образом устраняются.

В нашем случае не ставиться задачи разработки устойчивой системы «объект-регулятор», а только осваивается сама методика анализа работы таких систем.

Работа ПИ-регулятора описывается уравнением следующего вида

,

или иначе, в операторной форме записи

, (6)

где *Kp* – коэффициент усиления пропорциональной части регулятора;

*TИ* – постоянная времени интегрирующей части регулятора.

Индексы при переменных *X* и *Y*, а также постоянной *K* означают их принадлежность к регулятору. Их нельзя путать с обозначением оператора дифференцирования .

Произвольно выберем параметры настройки регулятора: *Kp*=5; *TИ*=0,1.

Cтруктура системы автоматического регулирования (САР) будет иметь вид, приведенный на рис. 9.4.

*y*(*p*)

–

Объект

Регулятор

*x*(*p*)

Рис. 9.4. структура системы САР

Общая передаточная функция САР будет представлена формулой

; (7)

где *W*(*p*) – передаточная функция объекта (формула (9.4));

*Wp*(*p*) – передаточная функция регулятора, которая, в соответствии с формулой (9.6) будет иметь вид с подставленными в нее параметрами регулятора

; (8)

Подставим в формулу (9.7) численные значения функции *W*(*p*), (см. формулу (9.4) и функции регулятора – формула (9.8).

 (9)

Последнее выражение представляет собой передаточную функцию замкнутой САР объекта с ПИ-регулятором. Аналогично выражению (9.5), для нее можно получить общее дифференциальное управление поведения замкнутой САР.

## 4. Исследование системы на устойчивость

Для данной процедуры применим критерий А.В. Михайлова. Из уравнения (9.9) выделим знаменатель передаточной функции и приравняем его к нулю

 (10)

Данное выражение есть характеристическое уравнение системы.

Согласно критерию А.В. Михайлова, для устойчивости системы необходимо и достаточно, чтобы при изменении угловой частоты *ω* от 0 до ∞ (0 ≤ *ω* ≤ ∞), годограф, описываемый концом вектора частотной характеристики *W*(*iω)* на плоскости комплексного переменного:

а) начинался на вещественной положительной полуоси;

б) вращался бы только против часовой стрелки;

в) нигде не обращался бы в нуль;

г) проходил последовательно число квадратов, равное степени характеристического уравнения *n*, повернувшись на угол .

Тогда, путем подстановки в характеристическое уравнение (10) частотное отображение оператора дифференцирования , где *i* – комплексное число, получим уравнение частотной характеристики системы

.

Выделим из нее вещественную *Re*(*ω*) и мнимую *I*m(*ω*) части:

;

.

Подставляя в данные части значения частоты *ω* от 0 до ∞, получим из значения, представленные в таблице 1.

Для удобства отображения больших и малых чисел на комплексной плоскости применим логарифмическую разметку шкалы ее полуосей в виде декадных оценок. Тогда вид кривой годографа будет представлен на рис. 5.

Таблица 1

Данные для расчета годографа

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *ω, Гц* | *ω*2 | *ω*3 | *ω*4 | *Re*(*ω*) | *Im*(*ω*) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 4,91 | 0 |
| 0,1 | 0,01 | 0,001 | 0,0001 | 4,77 | 2,2 |
| 0,5 | 0,25 | 0,125 | 0,0625 | 1,25 | 11,05 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | –9,72 | 21,18 |
| 2 | 4 | 8 | 16 | –55,21 | 15,09 |
| 5 | 25 | 125 | 625 | –387 | 2 |
| 10 | 100 | 1000 | 104 | –2458 | –650 |
| ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | –∞ | –∞ |

ω = 5

ω = 2

ω = 1

4,91

ω = 0

1000

1000

100

100

10

10

1000

100

10

10

100

1000

ω = 0,1

ω = 0,5

ω = 10

ω → ∞

Рис. 5. Годограф частотной характеристики САР

Анализ поведения годографа показывает, что нарушен пункт 2) критерия устойчивости. Поскольку характеристическое уравнение САР имеет четвертую степень полинома, вектор частотной характеристики должен пройти 4 квадранта, повернувшись на угол 2*π*. Однако она закончил свое движение в третьем квадранте, повернувшись на угол близкий к 5/4*π*. Следовательно, нет оснований считать анализируемую систему устойчивой.

Судя по структурной схеме, приведенной на рис. 9.1 устойчивость объекта нарушается сразу же на входе системы из-за звена 2, охваченного положительной обратной связью. Дополнительно к этому, само звено, судя по его передаточной функции, представляет собой параллельное соединение безинерционного и дифференцирующего звена. Последнее, само по себе являясь быстрым звеном, дополнительно охвачено положительной обратной связью. Это значительно снижает устойчивость объекта в такой степени, что даже наличие в системе ПИ-регулятора не вводит ее в устойчивую область.

Для решения этой задачи необходимо либо изменять структуру объекта, либо вводить в систему корректирующие звенья, либо менять тип и параметры регулятора.

## 5. Выполнение работы

Провести анализ на устойчивость системы САР, состоящей из объекта, структура которого изображена на рис. 9.6 и ПИ-регулятора, включенного в цепь отрицательной обратной связи.

Параметры звеньев объекта и регулятора приведены в таблице заданий 9.2.

1

2

3

4

–

+

+

*X*(*t*)

*Y*(*t*)

Рис. 6. Структурная схема объекта для выполнении работы

Анализ проводим в последовательности приведенного в п. 9.2-9.4 примера:

1. На основании правил преобразования структурных схем, сводим структуру объекта к единому эквивалентному звену.

Таблица 2

Варианты заданий

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № варианта | Дифференциальные уравнения звеньев объекта управления | Параметры регулятора |
| № 1 | № 2 | № 3 | № 4 | *KР* | *TИ* |
| 1 |  |  |  |  | 5 | 1,5 |
| 2 |  |  |  |  | 0,6 | 2,5 |
| 3 |  |  |  |  | 2 | 0,1 |
| 4 |  |  |  |  | 6 | 0,15 |
| 5 |  |  |  |  | 4 | 2 |

2. Путем алгебраических преобразований получаем общую передаточную функцию объекта.

3. Путем обратных преобразований из передаточной функции объекта получаем дифференциальное уравнение его поведения в форме уравнения (9.5).

4. Устанавливаем цепь отрицательной обратной связи к объекту в виде ПИ-регулятора. Выбирая из табл. 9.2 его параметры, устанавливаем операторную форму его передаточной функции (формула (9.8)).

5. Объединяем в общую передаточную функцию составные функции объекта и регулятора (формула вида (9.9)).

6. Выделяем из выражения *WCAP*(*p*) характеристическое уравнение замкнутой САР (формула (9.10)).

7. Исследуем САР на устойчивость по критерию А.В. Михайлова, для чего характеристическое уравнение преобразовываем в частотную характеристику *W*(*iω*).

8. Выделяем из последней вещественную *Re*(*ω*) и мнимую *Im*(*ω*) составляющие и строим таблицу значений точек годографа (в виде табл. 9.1).

9. Изменяя частоту, подаваемую в САР от 0 до ∞ заполняем таблицу 9.1 и строим график вектора годографа частотной характеристики.

10. По поведению графика годографа даем заключение об устойчивости САР.

**Контрольные вопросы по заданию**

1. Какие функции выполняют ПИ-регуляторы?
2. Как получить дифференциальное уравнение объекта или системы по их передаточным функциям?
3. Как соединены пропорциональное и интегрирующее звенья в ПИ-регуляторе?
4. Каким образом выводится характеристическое уравнение САР?
5. Что нужно для получения амплитудно-частотной характеристики САР?
6. Будет ли система устойчива, если годограф ее частотной характеристики начнет свое движение с отрицательной вещественной полуоси?
7. Как влияет на устойчивость САР положительная обратная связь в структуре системы?

**Описание процедур проведения промежуточной аттестации**

***Экзамен***

При определении уровня достижений обучающих на экзамене обращается особое внимание на следующее:

* дан полный, развернутый ответ на поставленный вопрос;
* показана совокупность осознанных знаний об объекте, проявляющаяся в свободном оперировании понятиями, умении выделить существенные и несущественные признаки, причинно-следственные связи;
* знание об объекте демонстрируются на фоне понимания его в системе данной дисциплины и междисциплинарных связей;
* ответ формулируется в терминах дисциплины, изложен литературным языком, логичен, доказателен, демонстрирует авторскую позицию обучающегося;
* теоретические постулаты подтверждаются примерами из практики.

**Пример экзаменационного билета**

|  |  |
| --- | --- |
| МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИФедеральное государственное бюджетное образовательное учреждениевысшего образования**«**Забайкальский государственный университет» | ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 8по дисциплине **Теория автоматического управления**направление подготовки 15.03.04Автоматизация технологических процессов и производствсеместр 8 |
| 1. Основные признаки классификации АСР.
2. Основные виды переходных характеристик и основные возмущающие величины и воздействия.
3. Как формируется частотная передаточная функция системы
 |

|  |  |
| --- | --- |
| Составил:. С.Я.Березин «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_ г  | УТВЕРЖДАЮЗав. кафедрой \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_ г. |

***Контрольные вопросы к экзамену:***

1. Что понимают под алгоритмом управления?
2. Назовите основные структурные составляющие АСР.
3. Зачем в систему вводится регулятор? Поясните его основную
4. функцию.
5. Что такое обратная связь? Какой она должна быть для пра-
6. вильного функционирования АСР?
7. Какие фундаментальные принципы управления существуют? Особенности каждого принципа.
8. Назовите основные пункты классификации АСР.
9. Что такое математическая модель? Какие типы моделей ис-

пользуются в теории автоматического управления?

1. Что понимают под дифференциальным уравнением? Как оп-
2. ределяется его порядок?
3. Что такое преобразование Лапласа? В чем его суть?
4. Какие режимы работы системы существуют? В чем особен-

ность данных режимов?

1. Что такое статическая характеристика системы? Как её

получить?

1. Какие переходные характеристики существуют? Какие типо-

вые воздействия используются для их получения?

1. Что представляют собой частотные характеристики системы?

Какие они бывают?

1. Построение АЧХ и ФЧХ в логарифмическом масштабе.
2. Как находятся частота сопряжения и частота среза?
3. Что такое передаточная функция системы?
4. Классификация и примеры типовых динамических звеньев.
5. Что такое структурная схема модели системы?
6. Каким образом изображаются параметрические связи в

структурной схеме модели системы?

1. Чем можно заменить несколько последовательно соединен-

ных звеньев?

1. Чем можно заменить несколько параллельно соединенных

звеньев?

1. Чем можно заменить звено, охваченное обратной связью?
2. По каким каналам можно получить передаточные функции

одноконтурной возмущенной системы автоматического регулирования?

1. Определение устойчивости системы и её математическая ин-

терпретация.

1. Что понимают под критерием устойчивости? Назовите два

основных типа критериев.

1. Как найти характеристическое уравнение системы? Типы

корней характеристического уравнения.

1. Критерий устойчивости по корням характеристического

уравнения.

1. В чем суть критерия Рауса? Назовите его формулировку.
2. В чем суть критерия Гурвица? Назовите его формулировку.
3. Как найти частотную передаточную функцию системы?
4. Определение устойчивости по критерию Михайлова. Форму-

лировка критерия Михайлова.

1. Определение устойчивости по критерию Найквиста. Форму-

лировка критерия Найквиста для систем устойчивых разомкнутом

состоянии.

1. Определение устойчивости по логарифмическому критерию.
2. Формулировка логарифмического критерия для систем, устойчивых в разомкнутом состоянии.
3. Как построить общую ЛАХ и ЛФХ системы по характери-

стикам отдельных звеньев?

1. Что понимается под структурной устойчивостью системы?
2. Какая система является структурно неустойчивой?
3. Что представляет собой качество регулирования? Чем оно

численно оценивается?

1. Какие воздействия на АСР применяют при оценке качества

регулирования?

1. Чем описывается статическая точность АСР?
2. Что представляет собой статизм? Как его определить?
3. Назовите способы повышения статической точности.
4. В каких системах отсутствует статическая ошибка?
5. Определение колебательности и перерегулирования.
6. Как определить колебательность по АЧХ?
7. Какие существуют корневые показатели качества и как их

определить?

1. Связь между прямыми и косвенными показателями качества

регулирования.

1. Какие существуют корневые показатели качества и как их

определить?

1. Связь между прямыми и косвенными показателями качества

регулирования.

**Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

* 1. **Основная литература**
	2. **Печатные издания**
1. **Кузьмин А.В., Схиртладзе А.Г.** Теория систем автоматического управления - Старый Оскол : ТНТ, 2014. - 224 с. – 15 экз.
2. **Березин, С.Я.** Основы кибернетики и управление биологическими и медицинскими системами : учеб. пособие / С. Я. Березин. - Чита : ЧитГУ, 2007. - 270 с.- 41 экз.
3. **Березин С.Я.** Управление в биологических и медицинских системах: практикум / С.Я.Березин. – Чита: ЗабГУ, 2012. – 89 с. - 15 экз.
4. **Сазонов Г. Г.** Основы автоматического управления : учеб. пособие / Сазонов Геннадий Григорьевич. - Старый Оскол : ТНТ, 2013. - 236 с. – 2 экз.
5. **Коновалов Б. И.** Теория автоматического управления : учеб. пособие / Коновалов Борис Игоревич, Лебедев Юрий Михайлович. - 3-е изд., доп. и перераб. - Санкт-Петербург : Лань, 2010. - 224 с. – 15 экз.
6. **Корнеев Н. В.** Теория автоматического управления с практикумом : учеб. пособие / Корнеев Николай Владимирович, Кустарев Юрий Степанович, Морговский Юлий Яковлевич. - Москва : Академия, 2008. - 224с. – 20 экз.
	1. **Издания из ЭБС**
7. Ким, Дмитрий Петрович. Теория автоматического управления : Учебник и практикум / Ким Д.П. - М. : Издательство Юрайт, 2017. - 276. Ссылка на ресурс: <https://www.biblio-online.ru/book/B7ADC8BE-61B0-40AF-B9DC-6B70196EC27F>.
8. Жмудь, Вадим Аркадьевич. Системы автоматического управления высшей точности : Учебное пособие / Жмудь В.А., Тайченачев А.В. - 2-е изд. - Computer data. - М. : Издательство Юрайт, 2017. - 211. Ссылка на ресурс: <https://www.biblio-online.ru/book/FD4FB575-60E0-4C2C-ADB8-CDC168ABB371>.
9. Рачков, Михаил Юрьевич. Оптимальное управление в технических системах : Учебное пособие / Рачков М.Ю. - 2-е изд. - Computer data. - М. : Издательство Юрайт, 2017. - 120. - Ссылка на ресурс: <https://www.biblio-online.ru/book/615503AA-3C33-4F5F-8F83-2CC02936692B>
10. Жмудь, Вадим Аркадьевич. **Теория автоматического управления**. Замкнутые системы : Учебное пособие / Жмудь В.А. - 2-е изд. - Computer data. - М. : Издательство Юрайт, 2017. - 234. - Ссылка на ресурс: <https://www.biblio-online.ru/book/4561B31D-C11D-4353-8A29-602D7F563CB4>
11. Ким, Дмитрий Петрович. **Теория автоматического управления**. Линейные системы. Задачник : Учебное пособие / Ким Д.П., Дмитриева Н.Д. - 2-е изд. - М. : Издательство Юрайт, 2017. - 169. - Ссылка на ресурс: <https://www.biblio-online.ru/book/ABDCCC62-F0C3-477B-B5E2-4083384860BC>.
12. **Дополнительная литература**
	1. **Печатные издания**
13. Горошков, Б.И. Автоматическое управление. /Б.И.Горошков. –М.: Академия. 2010. -352 с. – 9 экз.
14. Певзнер, Л. Д. Практикум по теории автоматического управления : учеб. Пособие. / Л.Д.Певзнер. – М.: ВШ. 2006. - 590с. – 30 экз.
15. Савин, М.М. Теория автоматического управления: Уч. пособие. /М.М.Савин, В.С.Елсуков, О.Н.Пятина; под ред. В.И.Лачина. – Ростов-на-Дону: Феникс. 2007. 469 с. – 1 экз.
16. Шишмарев, В.Ю. Основы автоматического управления. /В.Ю. Шишмарев. –М.: Академия. 2008. -352 с. – 16 экз.
17. Корнеев Н.В. Теория автоматического управления с практикумом. –М.: Академия. 2010. -256 с. – 20 экз.
	1. **Издания из ЭБС**
18. Прикладные методы теории управления [Электронный ресурс] : Учебное пособие / Лейбов Р.Л. - М. : Издательство АСВ, 2014. - [http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN 978-5-9309-3953-8.html](http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN%20978-5-9309-3953-8.html)
19. Востриков, Анатолий Сергеевич. **Теория автоматического регулирования** : Учебник и практикум / Востриков Анатолий Сергеевич; Востриков А.С., Французова Г.А. - Computer data. - М. : Издательство Юрайт, 2017. - 279. - Ссылка на ресурс: <https://www.biblio-online.ru/book/4E12BB8E-E0D9-460E-BBF7-FA6765791CFD>
20. Антимиров, Владимир Михайлович. Системы автоматического управления : Учебное пособие / Антимиров Владимир Михайлович; Телицин В.В. - отв. ред. - М. : Издательство Юрайт, 2017. - 91. - Ссылка на ресурс: <https://www.biblio-online.ru/book/253B6B79-9C39-4058-958D-BA8AB8E82C26>
21. Бородин, Иван Федорович. Автоматизация технологических процессов и **системы автоматического управления :** Учебник / Бородин И.Ф., Андреев С.А. - 2-е изд. - Computer data. - М. : Издательство Юрайт, 2017. - 356. - Ссылка на ресурс: <https://www.biblio-online.ru/book/7E4B1D44-CA39-4561-B0F4-E239322DFD47>

Ведущий преподаватель:

Профессор кафедры технических систем и робототехники, д.т.н. С.Я.Березин.

Зав. кафедрой АПП к.т.н., доцент Лапшакова Л.А.