

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

---

УТВЕЖДАЮ  
Первый проректор –  
проректор по учебной работе  
МГТУ им. Н.Э. Баумана

\_\_\_\_\_ **Б.В. Падалкин**

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## **ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ В МАГИСТРАТУРУ**

*по направлению подготовки*  
**24.04.01 Ракетная техника и космонавтика –  
Управление беспилотными летательными аппаратами**

код и наименование направления подготовки

---

*Факультет*

**Информатика и системы управления (ИУ)**

полное наименование факультета (сокращенное наименование)

---

*Кафедра*

**Системы автоматического управления (ИУ1)**

полное наименование кафедры (сокращенное наименование)

---

Москва, 2023 г.

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

К вступительным испытаниям в магистратуру допускаются лица, имеющие документ государственного образца о высшем образовании любого уровня (диплом бакалавра или специалиста). Лица, предъявившие диплом магистра, могут быть зачислены только на договорной основе. Прием осуществляется на конкурсной основе по результатам вступительных испытаний.

Программа вступительных испытаний в магистратуру по направлению подготовки:

### **24.04.01 Ракетная техника и космонавтика –**

#### **Управление беспилотными летательными аппаратами**

---

код и наименование направления подготовки

составлена на основании Собственного образовательного стандарта высшего образования подготовки бакалавра по направлению:

### **27.03.04 Управление в технических системах**

---

код и наименование направления подготовки

и охватывает базовые дисциплины подготовки бакалавров по названному направлению.

Программа содержит описание формы вступительных испытаний, перечень вопросов для вступительных испытаний и список литературы, рекомендуемой для подготовки.

## 2. ЦЕЛЬ ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Вступительные испытания призваны определить степень готовности поступающего к освоению основной образовательной программы магистратуры по направлению:

### **24.04.01 Ракетная техника и космонавтика –**

#### **Управление беспилотными летательными аппаратами**

---

код и наименование направления подготовки

## 3. ФОРМА ПРОВЕДЕНИЯ ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Вступительные испытания проводятся в письменной форме в соответствии с установленным приемной комиссией МГТУ расписанием.

Поступающему предлагается ответить письменно на 10 вопросов, охватывающих содержание разделов и тем программы соответствующих вступительных испытаний.

На ответы по вопросам и задачам билет отводится 210 минут.

Каждый билет содержит три вопроса и семь задач.

Окончательные результаты испытаний оцениваются по стобальной шкале.

Вопросы оцениваются максимум по 8 баллов, а задачи от 8 до 16 баллов.

Результаты испытаний оглашаются не позднее чем через три рабочих дня.

## 4. ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Письменное испытание проводится по программе, базирующейся на основной образовательной программе бакалавриата по направлению

### **27.03.04 Управление в технических системах**

---

код и наименование направления подготовки

## ПЕРЕЧЕНЬ РАЗДЕЛОВ И ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ, ВКЛЮЧЕННЫЕ В ПИСЬМЕННОЕ ИСПЫТАНИЕ

*Дисциплина «Управление в технических системах».*

Основные понятия системы автоматического управления (объект управления, управляющее устройство, блок-схема системы управления). Разомкнутые и замкнутые системы управления. Классические принципы управления: по отклонению, по возмущению, комбинированное управление. Классификация систем управления: системы стабилизации, системы программного управления, следящие системы. Пример системы стабилизации скорости вращения электродвигателя. Обобщенная функциональная схема системы управления и основные ее элементы.

Два подхода к описанию математической модели объекта управления. Пример нелинейной математической модели объекта управления в переменных «вход-выход» и в переменных состояния. Линеаризация статических нелинейных элементов, заданных графически и аналитически. Описание динамики и статики линейных объектов управления в переменных «вход-выход» и в переменных состояния. Графическое изображение уравнений линейной системы в переменных состояния (диаграмма состояния Калмана) на примере системы второго порядка. Обоснование неединственности вектора состояния для линейной динамической системы. Переход от одного вектора состояния линейных динамических систем к другому. Метод получения описания в переменных состояния динамики линейной системы с передаточной функцией без нулей и с передаточной функцией общего вида.

Преобразование Лапласа: понятие и свойства. Изображение по Лапласу линейного дифференциального уравнения. Нахождение реакции линейной системы на произвольное входное воздействие с помощью преобразования Лапласа. Понятие передаточной функции системы и ее свойства. Нахождение передаточной функции линейной системы по уравнениям в переменных «вход-выход» и в переменных состояния. Частотные и временные характеристики системы: виды и их связь. Связь входа и выхода линейной динамической системы через ее временные характеристики. Виды соединений систем: последовательное, параллельное и охват обратной связью. Правила преобразования структурных схем систем управления.

Понятие и виды типовых звеньев автоматических систем: идеальное усилительное звено и звено запаздывания; апериодическое и колебательное звенья; дифференцирующее и интегрирующее звенья; форсирующие звенья. Понятие и особенности минимально- и неминимальнофазовых звеньев. Построение логарифмических характеристик систем управления.

Понятие устойчивости автоматических систем. Определение устойчивости динамической системы по Ляпунову. Теоремы Ляпунова об устойчивости нелинейных систем по уравнениям первого приближения (первый метод Ляпунова). Необходимые и достаточные условия устойчивости линейных систем. Понятие критериев устойчивости линейных систем. Алгебраические критерии устойчивости: критерии устойчивости Рауса, Гурвица, Лъенара-Шипара. Понятие принципа аргумента Коши. Частотные критерии устойчивости: критерии устойчивости Михайлова и Найквиста. Понятие структурной устойчивости автоматической системы. Метод D-разбиения Неймарка.

Понятие качества автоматических систем. Качество системы управления в установившемся режиме. Коэффициенты ошибок и расчет ошибки управления. Расчет установившейся ошибки управления для типовых задающих воздействий. Статические и астатические системы управления. Качество системы управления в переходном режиме. Прямые показа-

тели качества процесса управления. Косвенные показатели качества процесса регулирования: частотные, корневые и интегральные.

Задача синтеза системы управления: структурный, параметрический и структурно-параметрический синтез. Постановка задачи синтеза корректирующих устройств. Виды корректирующих устройств, их особенности и эквивалентный пересчет последовательного в параллельное, либо в местную обратную связь. Методы коррекции динамических характеристик системы управления: изменение коэффициента усиления системы, введение производной и интеграла от ошибки.

Построение системы регулирования с использованием ПИД-регулятора. Параллельная и стандартная математическая форма описание ПИД-регуляторов. Физический смысл каждой компоненты ПИД-регуляторов и их влияние на характеристики качества системы регулирования. Методы настройки ПИД-регуляторов: методы правил Циглера-Николса, оптимизационные методы. Модифицированные ПИД-регуляторы: ПИ-Д регулятор, И-ПД регулятор. Методы настройки, достоинства и недостатки модифицированных ПИД-регуляторов. Особенности реализации ПИД-регуляторов на практике.

Постановка задачи синтеза модальных регуляторов. Линейная обратная связь по состоянию, моды линейной стационарной динамической системы. Матричный и полиномиальный (операторный) методы синтеза модального регулятора для одноканальных объектов в условиях полной информации о состоянии объекта. Постановка задачи синтеза наблюдающих устройств. Метод синтеза полного (нередуцированного) наблюдающего устройства. Понятие и особенности синтеза редуцированного наблюдающего устройства. Принцип разделения в задаче синтеза модального регулятора в условиях отсутствия полной информации о состоянии объекта. Особенности задачи синтеза модального регулятора для объектов с векторным входом. Метод синтеза одноранговых модальных регуляторов для многомерных объектов. Итерационный метод синтеза модальных регуляторов для многомерных объектов. Идея управления нулями одноканального динамического объекта. Возможные подходы к управлению передаточной функцией (нулями и полюсами) одноканального динамического объекта. Понятие чувствительности автоматической системы. Понятие инвариантности автоматической системы.

#### *Дисциплина «Основы теории нелинейных систем автоматического управления».*

Понятие нелинейных автоматических систем. Описание динамики нелинейных динамических систем в переменных «вход-выход» и в переменных состояния. Основные виды нелинейностей в автоматических системах. Основные типы существенных нелинейностей. Особенности поведения и исследования нелинейных автоматических систем. Линеаризация уравнений динамики системы. Линеаризация с переходом в пространство состояний.

Основные методы исследования нелинейных автоматических систем: точные и приближенные методы. Точные методы исследования нелинейных автоматических систем: метод фазовой плоскости и метод точечных преобразований. Приближенные методы исследования нелинейных автоматических систем. Автоколебания в нелинейных системах. Метод гармонической линеаризации для исследования автоколебаний в нелинейных автоматических системах. Алгебраический способ определения параметров автоколебаний нелинейных автоматических систем с использованием критерия устойчивости Михайлова. Частотный способ определения параметров автоколебаний нелинейных автоматических систем с использованием критерия устойчивости Найквиста.

Исследование устойчивости нелинейных динамических систем. Второй (прямой) ме-

тод Ляпунова исследования устойчивости нелинейных систем: геометрическая и физическая интерпретация и теоремы. Подходы к построению функций Ляпунова: энергетический метод, метод на основе квадратичных форм, метод Лурье-Постникова, метод разделения переменных, метод Красовского, метод Вокера-Кларка. Понятие и особенности квадратичной функции Ляпунова. Абсолютная устойчивости нелинейных автоматических систем: гипотеза Калмана-Айзермана и частотный метод В.М. Попова.

Аналитические методы синтеза законов управления гладкими нелинейными динамическими объектами (геометрические методы управления). Методы скоростного управления и метод большого коэффициента усиления. Идея метода обратных задач динамики в задачах синтеза нелинейных автоматических систем. Метод линеаризации обратной связью при синтезе нелинейных систем управления. Метод компенсации нелинейностей, метод линеаризации обратной связью по выходу и по состоянию. Метод синтеза нелинейных систем на основе переноса через интегратор (backstepping). Методы построения наблюдателей для нелинейных систем.

Функционирование нелинейных систем в скользящем режиме. Особенности исследования систем в скользящем режиме и построения фазовых портретов. Синтез нелинейных систем управления методом скользящего режима (sliding-mode).

#### *Дисциплина «Основы теории цифровых систем управления».*

Структуры и особенности цифровых систем управления, их преимущества и недостатки. Классификация дискретных (цифровых) сигналов и систем. Квантование непрерывных сигналов по времени и по уровню, математическое описание процесса квантования. Восстановление непрерывных сигналов по дискретным измерениям: теорема Котельникова-Шеннона, эффект поглощения частоты. Импульсная характеристика и дискретная передаточная функция. Квантование непрерывных систем, заданных в виде передаточных функций. Квантование непрерывных систем, заданных в пространстве состояний.

Устойчивость и стабилизируемость цифровых систем: понятие устойчивости, характеристическое уравнение, скрытые колебания. Показатели качества цифровых систем Точность цифровой системы в установившемся режиме. Переоборудование непрерывных регуляторов: методы переоборудования, основанные на использовании численного интегрирования, преобразование Тастина.

Частотная цифровая коррекция. Проектирование цифровых регуляторов методом размещения полюсов. Апериодическое цифровое управление. Синтез цифрового регулятора по модели эталонной системы. Синтез цифровых регуляторов методом билинейного преобразования. Полиномиальный алгоритм синтеза цифрового регулятора.

#### *Дисциплина «Основы теории оптимального управления».*

Задачи классического вариационного исчисления. Задача Лагранжа. Оптимизация на фиксированном интервале времени при фиксированных значениях некоторых переменных состояния. Необходимые условия оптимальности. Принцип Гамильтона в аналитической механике. Оптимизация при заданных в фиксированный конечный момент времени значениях функций от фазовых координат (задача с подвижным правым концом). Задачи оптимального быстрогодействия. Оптимизация при заданных значениях функций от фазовых координат в неопределенный момент окончания процесса (задача со свободным концом).

Методы решения краевых задач. Редукция задачи расчета оптимальных программ к задаче отыскания корней трансцендентной функции. Метод Ньютона. Решение задач боль-

шой размерности. Перенос граничных условий. Метод А.А. Абрамова. Процедура решения краевых задач методом переноса граничных условий. Одновременный перенос нескольких граничных условий. Применение метода переноса граничных условий для построения итерационных схем.

Принцип максимума Л.С. Понтрягина. Игольчатое варьирование управления. Принцип максимума в задаче с фиксированным временем и со свободным правым концом. Методы теории оптимального управления, использующие процедуру решения задач со свободным концом. Задача Майера. Принцип максимума в задачах с фиксированным временем и подвижным правым концом. Принцип максимума в задаче с нефиксированным временем и подвижным правым концом. Задача Майера. Задача Больца.

Многошаговый процесс управления. Принцип оптимальности Р. Беллмана. Вычислительные аспекты метода динамического программирования. Применение динамического программирования в статических задачах. Уравнение Беллмана для непрерывных систем. Связь динамического программирования с классическим вариационным и принципом максимума. Структура оптимальной системы. Теорема разделения. Синтез оптимальных регуляторов при неполной информации о состоянии. Регулятор состояния с наблюдателем Льюинбергера. Оптимальные ПИ регуляторы. Субоптимальные законы управления. Реализация оптимальных законов управления.

#### *Дисциплина «Теория систем и системный анализ».*

Понятие системы, описание систем. Системный анализ с позиций кибернетики. Системы регулирования. Состав, назначение, классификация. Системы управления. Состав, назначение, классификация. Системы координации. Многокритериальная оптимизация. Получение компромиссного решения по методу «идеальной точки». Понятие об иерархии. Даймонд-структура системы, примеры.

Метод анализа иерархии. Шкалы сравнения. Свойства матрицы парных сравнений. Метод анализа иерархии. Определение вектора весовых коэффициентов. Метод анализа иерархии. Методика оценки согласованности экспертных оценок. Применение метода анализа иерархии для выбора одного из вариантов альтернатив. Учет факторов неопределенности в процессе проектирования систем. Методика проведения экспертных оценок для формализации неопределенности проектных параметров. L-R-функции. Подходы экспертного ранжирования решений на основе среднего значения, медианы и кластеризующей ранжировки.

Марковские процессы дискретного времени. Потoki событий. Марковские процессы непрерывного времени. Система уравнений Колмогорова-Чепмена. Предельные вероятности состояния в марковских цепях. Стационарные режимы. Процесс «гибели и размножения» популяции. Циклический процесс. Метод динамики средних численностей.

Системы массового обслуживания. Классификация и основные характеристики. Одноканальная система массового обслуживания с отказами. Многоканальная система массового обслуживания с отказами. Одноканальная система массового обслуживания с ожиданием. Многоканальная система массового обслуживания с ожиданием. Системы массового обслуживания с ограниченным временем ожидания. Одноканальная замкнутая система массового обслуживания. Многоканальная замкнутая система массового обслуживания. Системы массового обслуживания с взаимопомощью между каналами.

#### *Дисциплина «Моделирование систем управления».*

Моделирование как метод исследования. Математическое моделирование. Имитационное моделирование. Системная динамика. Полунатурное моделирование. Натурное моделирование. Модель и ее виды, классификация. Стенды имитационного и полунатурного моделирования.

Методы описания динамических систем. Описание в виде систем дифференциальных уравнений. Описание в виде передаточных функций. Описание в виде пространства состояний. Описание систем в нормальной форме Коши. Явная и неявная формы Коши. Жесткие и нежесткие задачи.

Численные методы решения задачи Коши. Явные и неявные численные методы решения задачи Коши. Одношаговые и многошаговые численные методы решения задачи Коши. Классические методы решения задачи Коши: метод Эйлера, улучшенный метод Эйлера, метод Эйлера-Коши, метод Эйлера-Коши с итерационной обработкой. Семейство численных методов Рунге-Кутты. Метод простой итерации как метод разрешения неявности для одношаговых численных методов решения задачи Коши. Методы Адамса. Метод предиктора-корректора как метод разрешения неявности для многошаговых численных методов решения задачи Коши. Семейство методов BDF (формулы обратного дифференцирования). Семейство методов NDF. Устойчивость численных методов решения задачи Коши. A-устойчивость численных методов решения задачи Коши.

**ТИПОВОЙ БИЛЕТ**  
**ДЛЯ ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ЭКЗАМЕНОВ В МАГИСТРАТУРУ**

**ВОПРОСЫ**

**Вопрос 1** (8 баллов). Метод D-разбиений Неймарка. Область устойчивости в плоскости одного комплексного параметра.

**Вопрос 2** (8 баллов). Постановка задачи, необходимое и достаточное условие оптимальности траектории движения материальной точки в простейшей вариационной задаче.

**Вопрос 3** (8 баллов). Методика проведения экспертных оценок для формализации неопределенности проектных параметров. L-R-функции.

**ЗАДАЧИ**

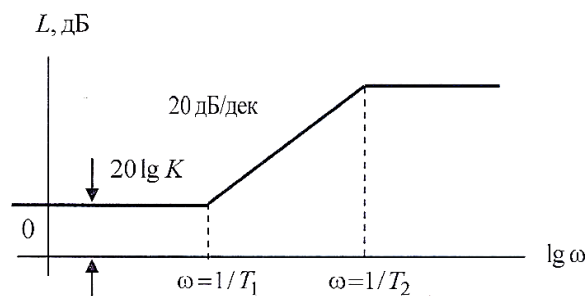
**Задача 1** (8 баллов). Какой наклон асимптотической ЛАЧХ на частоте  $\omega = 10\text{с}^{-1}$  для передаточной функции

$$W(s) = \frac{2}{(10s + 1)(s + 1)}.$$

**Задача 2** (8 баллов). Посредством критерия Гурвица исследовать устойчивость тривиального решения дифференциального уравнения

$$y^{(4)} + 2y^{(2)} + 3y^{(2)} + 2y^{(1)} + y = 0.$$

**Задача 3** (8 баллов). Восстановить передаточную функцию звена по его асимптотической ЛАЧХ.



**Задача 4** (12 баллов). 4. Найти Лаплас-образ функции

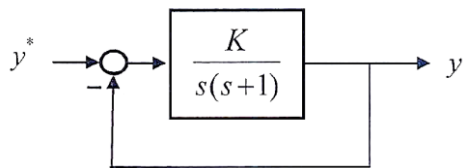
$$f(t) = t^4 1(t) + 5\delta(t - 3).$$

**Задача 5** (12 баллов). Установить тип фазового портрета системы

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{Ax}, \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} -2 & 3 \\ 1 & -4 \end{bmatrix}.$$



**Задача 6** (12 баллов). Найти максимальную степень устойчивости, которую можно достигнуть настройкой параметра  $K$  замкнутой системы.



**Задача 7** (16 баллов). Определить при каких значениях параметра  $\alpha$  система с заданной передаточной функцией теряет свойство полной управляемости и наблюдаемости

$$W(s) = \frac{s + \alpha}{s^2 + 5s + 6}.$$

# ПРАВИЛЬНЫЕ ОТВЕТЫ НА ТИПОВОЙ БИЛЕТ ДЛЯ ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ В МАГИСТРАТУРУ

## 1. Метод D-разбиений. Область устойчивости в плоскости одного комплексного параметра.

Рассматривается характеристическое уравнение

$$a_n \lambda^n + a_{n-1} \lambda^{n-1} + \dots + a_1 \lambda + a_0 = 0 \quad (1.1)$$

все коэффициенты, кроме двух (например,  $a_0$  и  $a_n$ ), определены. При некоторых фиксированных значениях коэффициентов  $a_i$  уравнение (1.1) имеет на комплексной плоскости  $m$  корней, лежащих слева, и  $n - m$  корней, лежащих справа от мнимой оси. Эту область обозначим через  $D_m$ .

Для определения влияния, например параметра  $k$ , характеристическое уравнение выражают относительно этого параметра  $k$ , т.е. приводят к виду

$$Q \lambda + kR \lambda = 0. \quad (1.2)$$

Для построения области устойчивости принимают  $\lambda = j\omega$  и разделяют вещественную и мнимую части:

$$k = -\frac{Q j\omega}{R j\omega} = U \omega + jV \omega. \quad (1.3)$$

Задавая различные значения частоты  $\omega$  (от  $-\infty$  до  $+\infty$ ), строят в плоскости  $U, V$  (плоскости  $k$ ) границу D-разбиения. При движении по мнимой оси от  $\omega = -\infty$  до  $\omega = +\infty$  на комплексной плоскости область корней с отрицательными вещественными частями остается слева. При этом отмечают направление движения от  $-\infty$  до  $+\infty$  и заштриховывают левую часть кривой по отношению к этому движению. В той части плоскости, в сторону которой направлены штрихи, находится отображение левой полуплоскости корней. Поэтому областью устойчивости может быть только эта часть плоскости. Так как область устойчивости ищется в плоскости только одного параметра, то этой области может и не быть; поэтому необходимо проверить условие устойчивости с помощью какого-либо критерия. После нахождения области устойчивости рассматривают лишь действительные значения  $k$ .

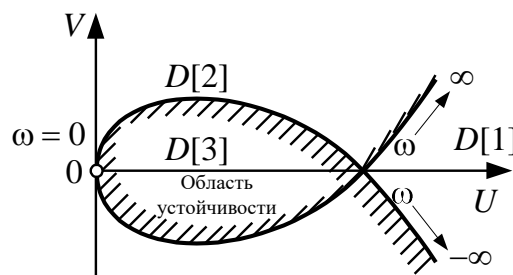


Рис. 1. Пример выделения областей устойчивости

## 2. Постановка задачи, необходимое и достаточное условие оптимальности траектории движения материальной точки в простейшей вариационной задаче.

В простейшей вариационной задаче рассматривается функционал качества в форме Лагранжа:

$$J = \int_{t_0}^{t_k} F[x(t), \dot{x}(t), t] dt \rightarrow \text{extr}, \quad (2.1)$$

где  $F[x(t), \dot{x}(t), t]$  – непрерывная и дифференцируемая необходимое число раз функция;  $x(t)$  – удовлетворяет граничным условиям

$$\begin{cases} x(t_0) = x_0 \\ x(t_k) = x_k. \end{cases}$$

Функционал (2.1) представляет собой определенный интеграл некоторой функции  $F[x(t), \dot{x}(t), t]$ , которая должна быть непрерывной и иметь непрерывные частные производные по всем координатам  $x(t)$ ,  $\dot{x}(t)$ ,  $t$  до второго порядка включительно.

Таким образом, простейшей задачей классического вариационного исчисления является задача определения функции  $x^o(t)$ , которая бы доставляла экстремум функционалу, и проходила бы через фиксированные точки  $x(t_0)$ ,  $x(t_k)$  в моменты времени  $t_0$  и  $t_k$  соответственно.

Необходимое условие существования экстремума функционала качества описывается уравнением Эйлера

$$\frac{\partial F(x, \dot{x}, t)}{\partial x} - \frac{d}{dt} \frac{\partial F(x, \dot{x}, t)}{\partial \dot{x}} = 0. \quad (2.2)$$

Или с учетом следующих обозначений  $F_x = \frac{\partial F(x, \dot{x}, t)}{\partial x}$ ,  $F_{\dot{x}} = \frac{\partial F(x, \dot{x}, t)}{\partial \dot{x}}$  формула (2.2) примет вид:

$$F_x - \frac{d}{dt} F_{\dot{x}} = 0. \quad (2.3)$$

Решением уравнения Эйлера является  $x^o(t)$  – функция, доставляющая экстремум функционалу (2.1), называемая экстремалью.

Достаточное условие существования экстремума функционала качества – условие Лежандра.

Для того чтобы функционал вида  $J = \int_{t_0}^{t_k} F(x, \dot{x}, t) dt$  в задаче с закрепленными граничными точками достигал на экстремали минимума или максимума, необходимо, чтобы вдоль этой кривой  $x^o(t)$  выполнялось условие:

$$\frac{\partial^2 F(x, \dot{x}, t)}{\partial \dot{x} \partial \dot{x}} > 0 \text{ – условие минимума} \quad (2.4)$$

или

$$\frac{\partial^2 F(x, \dot{x}, t)}{\partial \dot{x} \partial \dot{x}} < 0 \text{ – условие максимума.}$$

### 3. Методика проведения экспертных оценок для формализации неопределенности проектных параметров. L-R-функции.

Определение проектных характеристик проводится экспертным путем. В качестве экспертов руководителем проекта (РП) привлекаются специалисты различных организаций, имеющие опыт решения аналогичных задач или эксплуатации аналогичных устройств и систем. Мнение РП о привлеченных экспертах целесообразно отразить в виде ранга  $r_i$  эксперта с номером  $i$ . Ранг эксперта – это число в интервале от 1 до 10, причем чем выше мнение РП об эксперте, тем выше ранг. Далее при вычислении оценок потребуется сумма рангов экспертов  $R^{\ominus}$ :

$$R^{\ominus} = \sum_{i=1}^{N_{\ominus}} r_i \quad (3.1)$$

где  $N_{\ominus}$  – число экспертов.

Пусть в ходе экспертизы требуется определить функцию принадлежности для проектного параметра  $X$ , который по предварительным оценкам может принадлежать интервалу  $X_{\min}, X_{\max}$ . Этот интервал должен быть представлен дискретными значениями  $X : X_1, X_2, X_3, \dots, X_p \dots$  и для каждого  $X_p$  каждый эксперт должен указать значение функции принадлежности  $\mu_i(X_p)$  в диапазоне от 0 до 1.

После установления оценок каждым экспертом проводится вычисление обобщенной функции принадлежности с учетом рангов экспертов для каждого дискретного значения  $X_p$  по формуле

$$\mu(X_p) = (1/R^{\mathcal{E}}) \left[ \sum_{i=1}^{N^{\mathcal{E}}} \mu_i(X_p) r_i \right] \quad (3.2)$$

Поскольку для ряда неподготовленных экспертов проведение оценок может быть связано с психологическими трудностями, можно воспользоваться более простой процедурой, состоящей в указании каждым экспертом трех прогнозируемых им значений проектного параметра  $X$ : наиболее достоверного,  $X_i$ , минимально возможного, практически недостоверного,  $L_i$ , максимально возможного, практически недостоверного,  $R_i$ .

Положив  $\mu(X_i) = 1$ ,  $\mu(L_i) = \mu(R_i) = 0$ , можно получить оценку неопределенности в виде трех значений  $\langle X_i, L_i, R_i \rangle$  или  $L$ - $R$ -функции.

Если окажется, что разброс оценок  $X_i$  не превышает 25%, то в дальнейшем можно воспользоваться обобщенной  $L$ - $R$ -функцией, параметры которой определяются осреднением:

$$\begin{aligned} X &= \left( \frac{1}{R^{\mathcal{E}}} \right) \left( \sum_{i=1}^{N^{\mathcal{E}}} X_i r_i \right) \\ L &= \left( \frac{1}{R^{\mathcal{E}}} \right) \left( \sum_{i=1}^{N^{\mathcal{E}}} L_i r_i \right) \\ R &= \left( \frac{1}{R^{\mathcal{E}}} \right) \left( \sum_{i=1}^{N^{\mathcal{E}}} R_i r_i \right) \end{aligned} \quad (3.3)$$

В тех случаях, когда разброс оценок  $X_i$  превышает 25%, необходима процедура построения обобщенной функции принадлежности, основанной на графическом суммировании  $L$ - $R$ -функций отдельными экспертами. Перед проведением такого суммирования проводят нормализацию  $L$ - $R$ -функций, т.е. замену единичного значения  $L$ - $R$ -функции при  $X = X_i$  значением  $\frac{r_i}{R^{\mathcal{E}}}$ . Далее эти функции наносят на график и для каждого дискретного значения  $X_p$  вычисляют значения  $\mu(X_p)$  путем графического суммирования.

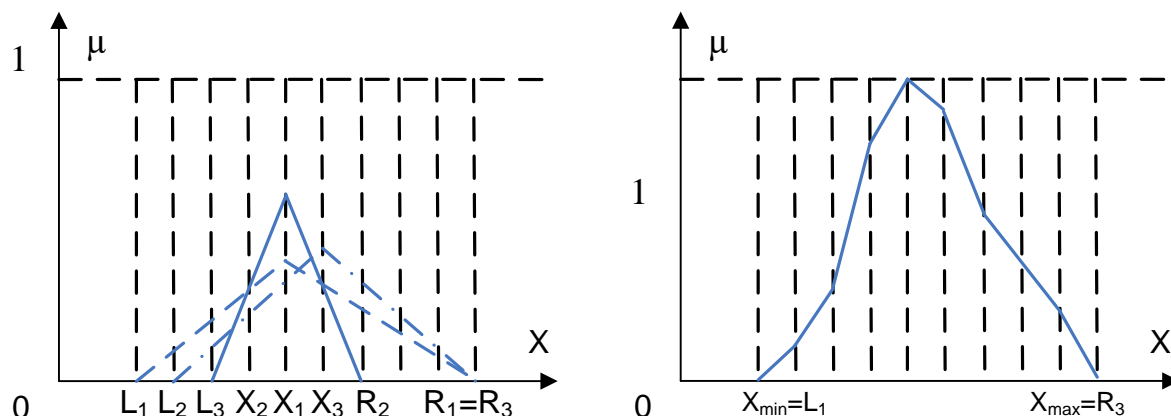


Рис. 3.  $L$ - $R$ -функции экспертов (слева) и обобщенная функция принадлежности (справа)

**ТАБЛИЦА ПРАВИЛЬНЫХ ОТВЕТОВ НА ЗАДАЧИ**

<b>№ задачи</b>						
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
-40 дБ/дек	устойчиво	$W(s) \frac{K(T_1s+1)}{(T_2s+1)}$	$F(s) = \frac{3!}{s^4} + 5e^{-3s}$	устойчивый узел	1/4	2 и 3

## **ПЕРЕЧЕНЬ ИСТОЧНИКОВ ЛИТЕРАТУРЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ВСТУПИТЕЛЬНЫМ ИСПЫТАНИЯМ**

### *Основная учебная литература*

1. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-и тт.; 2-е изд. / Под ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Егупова. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.
2. Солодовников В.В., Плотников В.Н., Яковлев А.В. Теория автоматического управления техническими системами. - М.: Изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1993.
3. Теория автоматического управления / С.Е. Душин, Н.С. Зотов, Д.Х. Имаев и др.; под ред. В.Б. Яковлева. М.: Высшая школа, 2003.
4. Ким Д.П. Теория автоматического управления (в 2-х тт.): Т.1. Линейные системы; Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. М.: Физматлит, 2003, 2004.
5. Теория автоматического управления / М.М. Савин, В.С. Елсуков, О.Н. Пятина; под ред. В.И. Лачина. Ростов н/Д: Феникс, 2007.
6. Качала В.В. Общая теория систем и системный анализ. Учебник для вузов. М.: Горячая линия – Телеком, 2019. 432 с.

### *Дополнительная справочная и учебная литература*

1. Математические основы теории автоматического управления: учебное пособие в 3-х т. / В.А. Иванов, В.С. Медведев, Б.К. Чемоданов и др.; под ред. Б.К. Чемоданова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана., 2008.
2. Первозванский А.А. Курс теории автоматического управления. - М.: Наука, 1987.
3. Справочник по теории автоматического управления / под ред. А.А. Красовского. М.: Наука, 1987.
4. Машиностроение. Энциклопедия в 40 тт. Т. 1-4. Автоматическое управление. Теория / Е.А. Федосов, А.А. Красовский, Е.П. Попов и др.; под общ. ред. Е.А. Федосова. М.: Машиностроение. 2000.
5. Методы принятия решений в задачах оценки качества и технического уровня сложных технических систем / С.С. Семенов, Е.М. Воронов, А.В. Полтавский, А.В. Крянев. М.: ЛЕНАНД, 2016. 520 с.

Авторы программы:

д.т.н., профессор Н.Б. Филимонов

---

к.т.н., доцент А.А. Карпунин

---

ст. преподаватель А.Л. Масленников

---

Программа вступительных испытаний утверждена на заседании кафедры ИУ-1  
Протокол № \_\_\_\_ от «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.

Заведующий кафедрой

д.т.н., профессор К.А. Неусыпин

---

Декан факультета ИУ

д.т.н., профессор А.В. Пролетарский

---

Согласовано:

Начальник

Управления образовательных стандартов и программ

к.т.н., доцент Гузева Т.А.

---