

**Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

Направление подготовки/специальность: 15.04.06 Мехатроника и робототехника

Наименование образовательной программы: Разработка компьютерных технологий управления и математического моделирования в робототехнике и мехатронике

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Оценочные материалы
по дисциплине
Методы и теория оптимизации**

**Москва
2025**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Меркурьев И.В.
	Идентификатор	Rd52c763c-MerkuryevIV-1e4a883c

И.В.
Меркурьев

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Свириденко О.В.
	Идентификатор	R9097b88f-SviridenkoOV-16830d5f

О.В.
Свириденко

Заведующий
выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Меркурьев И.В.
	Идентификатор	Rd52c763c-MerkuryevIV-1e4a883c

И.В.
Меркурьев

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. РПК-2 Способен применять методы и технологии искусственного интеллекта в своей профессиональной деятельности

ИД-1 Способен применять методы искусственного интеллекта для оптимизации инженерных решений

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Контрольная работа № 2 «Метод динамического программирования Беллмана для непрерывных систем» (Контрольная работа)
2. Самостоятельная работа «Оценка точности выполнения программных движений робота». (Отчет)

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа № 1 «Метод динамического программирования Беллмана для дискретных систем» (Контрольная работа)
2. Контрольная работа №3 «Принцип максимума Понтрягина». (Контрольная работа)

БРС дисциплины

3 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Контрольная работа № 1 «Метод динамического программирования Беллмана для дискретных систем» (Контрольная работа)
- КМ-2 Контрольная работа № 2 «Метод динамического программирования Беллмана для непрерывных систем» (Контрольная работа)
- КМ-3 Контрольная работа №3 «Принцип максимума Понтрягина». (Контрольная работа)
- КМ-4 Самостоятельная работа «Оценка точности выполнения программных движений робота». (Отчет)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	15

Введение в теорию оптимального управления				
Введение в теорию оптимального управления	+			
Статическая и динамическая оптимизация				
Статическая и динамическая оптимизация	+	+	+	+
Принцип максимума Понтрягина в задачах оптимального управления				
Принцип максимума Понтрягина в задачах оптимального управления			+	
Метод динамического программирования в задачах управления				
Метод динамического программирования в задачах управления		+		
Адаптивное управление по локальному критерию				
Адаптивное управление по локальному критерию			+	+
Вес КМ:	25	25	25	25

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
РПК-2	ИД-1РПК-2 Способен применять методы искусственного интеллекта для оптимизации инженерных решений	Знать: основные методы статической и динамической оптимизации основы теории адаптивного управления и идентификации методы получения оптимальных алгоритмов Уметь: обосновывать выбор типа переменных состояния объекта управления делать рациональный выбор метода синтеза оптимального алгоритма управления разрабатывать компьютерные программы моделирования оптимальных систем регулирования	КМ-1 Контрольная работа № 1 «Метод динамического программирования Беллмана для дискретных систем» (Контрольная работа) КМ-2 Контрольная работа №3 «Принцип максимума Понтрягина». (Контрольная работа) КМ-3 Контрольная работа № 2 «Метод динамического программирования Беллмана для непрерывных систем» (Контрольная работа) КМ-4 Самостоятельная работа «Оценка точности выполнения программных движений робота». (Отчет)

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. Контрольная работа № 1 «Метод динамического программирования Беллмана для дискретных систем»

Формы реализации: Письменная работа

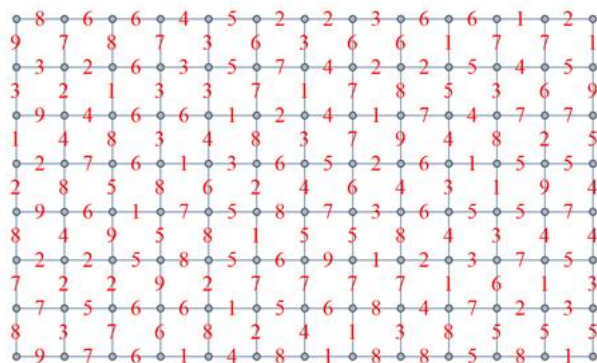
Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студенты за 1 час должны выполнить общее для всех задание.

Краткое содержание задания:

1. Применить метод динамического программирования Беллмана в определении кратчайшего пути из верхнего левого узла в нижний правый узел графа. Длина ребра задана целым числом.



Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: методы получения оптимальных алгоритмов	1.Метод динамического программирования Беллмана для построения оптимального управления дискретной системой. 2.Постановка задач оптимизации.
Знать: основные методы статической и динамической оптимизации	1.Оптимизация параметров математических моделей в системах инженерного проектирования и расчетов.

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

КМ-2. Контрольная работа № 2 «Метод динамического программирования Беллмана для непрерывных систем»

Формы реализации: Компьютерное задание

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: решить предложенный вариант задание дома, с использованием программы Математика.

Краткое содержание задания:

Тема 3. Метод динамического программирования Беллмана в задаче распределения ресурсов

Найти максимум функционала $J = \sum_{i=1}^n g_i(x_i)$ для целочисленных значений x_i , удовлетворяющим ограничениям $0 \leq x_i \leq 9$. Для решения задачи применить метод динамического программирования Беллмана.

Тема 4. Метод динамического программирования Беллмана в транспортной задаче

Найти минимум функционала $J = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^3 g_{ij}(x_{ij}) = a_1 x_{11}^2 + a_2 x_{12}^2 + a_3 x_{13}^2 + a_4 x_{21}^2 + a_5 x_{22}^2 + a_6 x_{23}^2$

численных значений x_{ij} , удовлетворяющим ограничениям

$0 \leq x_{ij} \leq 4, x_{11} + x_{21} = 3, x_{12} + x_{22} = 4, x_{13} + x_{23} = 2, x_{11} + x_{12} + x_{13} = 6, x_{21} + x_{22} + x_{23} = 3.$

{номер варианта, значения коэффициентов a_k }

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: основные методы статической и динамической оптимизации	1. Метод динамического программирования Беллмана в линейно-квадратичной задаче оптимального управления линейной системой.
Уметь: обосновывать выбор типа переменных состояния объекта управления	1. Метод динамического программирования Беллмана в задаче оптимального распределения ресурсов. Постановка задачи. Пример расчета.

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

КМ-3. Контрольная работа №3 «Принцип максимума Понтрягина».

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студенты за 1 час 30 минут должны выполнить задание по вариантам.

Краткое содержание задания:

1. Постановка задач оптимизации. Оптимизация параметров математических моделей в системах инженерного проектирования и расчетов. Оптимизация управляющих воздействий на динамическую систему. Оптимизация задач обработки измерений.
2. Оптимальное по быстродействию управление линейной системой. Уравнение Беллмана. Структура оптимального регулятора. Пример построения оптимального по быстродействию управления динамической системой.
3. Построить управление линейной системой

8. Построить управление линейной системой

$$\dot{x} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} x + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} u, x(0) = (1, 1)^T$$

обеспечивающее стабилизацию системы в окрестности начала координат на полубесконечном времени и минимизирующее квадратичный функционал

$$J = \int_0^{\infty} \left(x^T \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 2 \end{pmatrix} x + u^2 \right) dt \rightarrow \min$$

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: основные методы статической и динамической оптимизации	1. 1. Решение линейно-квадратичной задачи оптимального управления дискретной системой методом динамического программирования Беллмана. Пример построения оптимального управления системой.
Знать: основы теории адаптивного управления и идентификации	1. 1. Метод динамического программирования Беллмана в задаче о кратчайшем пути. Постановка задачи. Пример расчета. 2. Метод динамического программирования Беллмана в задаче оптимального распределения ресурсов. Постановка задачи. Пример расчета 3. Метод динамического программирования Беллмана для

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
	построения оптимального управления непрерывной динамической системой. Постановка задачи. Уравнение Беллмана. Структура оптимального регулятора. Уравнение Гамильтона–Якоби
Уметь: делать рациональный выбор метода синтеза оптимального алгоритма управления	7. Построить управление линейной системой $\dot{x} = 2x + 3u$, обеспечивающее перевод системы из состояния $x(0)=1$ к началу координат за время $t_1=2$ и минимизирующее квадратичный функционал $J = \int_0^{t_1} (x^2 + 2u^2) dt \rightarrow \min.$ 1. Построить управление линейной системой $\dot{x}' = u$, обеспечивающее перевод фазовой точки $x(0)=1$ к началу координат за время $t_1=3$ и минимизирующее квадратичный функционал $J = \int_0^{t_1} u^2 dt \rightarrow \min.$ 2. 4. Построить управление линейной системой $\dot{x}' = u$, обеспечивающее перевод фазовой точки $x(0)=4$ к началу координат за время $t_1=3$ и минимизирующее квадратичный функционал $J = \int_0^{t_1} u^2 dt \rightarrow \min.$ 3.

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

КМ-4. Самостоятельная работа «Оценка точности выполнения программных движений робота».

Формы реализации: Компьютерное задание

Тип контрольного мероприятия: Отчет

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Написать программу для решения предложенной проблемы дома.

Краткое содержание задания:

Найти третью итерацию оптимального управления. Найти численное решение замкнутой системы управления и оценить отклонения от начала координат. Т.к. мы рассматриваем линеаризованную систему, отклонения по углам поворота звеньев должны быть малыми, не более 10 градусов 0.17 в радианной мере, 2 Pi рад 360 градусов. Все расчеты у нас в радианной мере.

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: основы теории адаптивного управления и идентификации	1. 1. Функция Гамильтона. Уравнения Гамильтона. Структура оптимального управления. Уравнения движения исходной и сопряженной системы. 2.Оптимальное по быстродействию управление линейной системой. Уравнение Беллмана. Структура оптимального регулятора.
Уметь: разрабатывать компьютерные программы моделирования оптимальных систем регулирования	1.Постановка задачи оптимального управления. Связь принципа максимума с методом динамического программирования Беллмана 2.Линейно-квадратичная задача оптимального управления стационарной линейной системой на полубесконечном интервале времени. Матричное алгебраическое уравнение Риккати. Итерационное решение алгебраического уравнения Риккати. 3.Аналитическое решение дифференциального уравнения Риккати. Сведение к гамильтоновой системе дифференциальных уравнений. Свойства переходной матрицы линейной динамической системы.

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

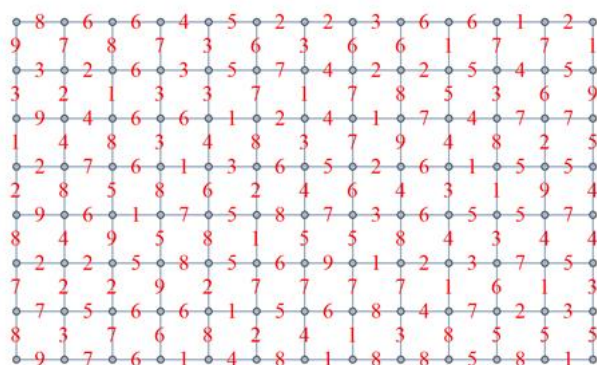
СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

3 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

1. Постановка задач оптимизации. Оптимизация параметров математических моделей в системах инженерного проектирования и расчетов. Оптимизация управляющих воздействий на динамическую систему. Оптимизация задач обработки измерений.
2. Метод динамического программирования Беллмана для построения оптимального управления дискретной системой. Постановка задачи оптимального управления для динамических систем с ограничениями на управляющие воздействия и значения компонент вектора состояния. Задача минимизации целевых квадратичных функционалов на решениях динамической системы. Разностный аналог непрерывной динамической системы. Принцип оптимальности Беллмана.
3. Применить метод динамического программирования Беллмана в определении кратчайшего пути из верхнего левого узла в нижний правый узел графа. Длина ребра задана целым числом.



Процедура проведения

Очная

Время подготовки 1.5 астрономических часа

1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины

1. Компетенция/Индикатор: ИД-1_{РПК-2} Способен применять методы искусственного интеллекта для оптимизации инженерных решений

Вопросы, задания

- 1.
1. Алгоритм решения задачи оптимального по быстродействию управления с помощью принципа максимума Понтрягина. Структура оптимального управления. Пример расчета релейной обратной связи в задаче оптимального по быстродействию управления линейной системой.
- 2.

1. Принцип максимума Понтрягина в линейно-квадратичной задаче оптимального управления линейной системой. Алгоритм построения оптимального управления. Структура оптимального регулятора. Пример расчета оптимального по энергозатратам управления с заданным временем регулирования, фиксированным начальным и конечным состоянием линейной системы.
- 3.
1. Принцип максимума Понтрягина. Постановка задачи оптимального управления. Связь принципа максимума с методом динамического программирования Беллмана. Функция Гамильтона. Уравнения Гамильтона. Структура оптимального управления. Уравнения движения исходной и сопряженной системы.
- 4.
1. Оптимальное по быстродействию управление линейной системой. Уравнение Беллмана. Структура оптимального регулятора. Пример построения оптимального по быстродействию управления динамической системой.
- 5.
1. Аналитическое решение дифференциального уравнения Риккати. Сведение к гамильтоновой системе дифференциальных уравнений. Свойства переходной матрицы линейной динамической системы. Матричный коэффициент усиления в цепи оптимальной обратной связи. Построение решения задачи оптимального управления.
- 6.
1. Метод динамического программирования Беллмана для построения оптимального управления непрерывной динамической системой. Постановка задачи. Уравнение Беллмана. Структура оптимального регулятора. Уравнение Гамильтона–Якоби.
- 7.
1. Решить задачу оптимального по быстродействию управления системой .
- 8.
1. Постановка задач оптимизации. Оптимизация параметров математических моделей в системах инженерного проектирования и расчетов. Оптимизация управляющих воздействий на динамическую систему. Оптимизация задач обработки измерений.
- 9.
1. Решение линейно-квадратичной задачи оптимального управления дискретной системой методом динамического программирования Беллмана. Пример построения оптимального управления системой.
- 10.
1. Решение задачи оптимального быстродействия методом динамического программирования Беллмана. Математическая модель многошагового процесса управления с ограничениями на управляющие воздействия и компоненты вектора состояния системы. Пример построения оптимального по быстродействию управления.

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Для чего предназначено моделирование?

Ответы:

1. Для объяснения поведения системы и выбора параметров, характеризующих процесс
2. Для описания достижений желаемого результата
3. Для предоставления одной системы в знаках и символах другой системы

Верный ответ: 1

2. Что понимают под критерием эффективности?

Ответы:

1. Количественная мера эффективности
2. Представление одной системы в знаках и символах другой системы
3. Любая целенаправленная деятельность человека или коллектива людей
4. Степень достижения поставленной цели
5. Чувствительность к изменениям деятельности

Верный ответ: 1

3. Какие методы представляют собой алгоритм определения оптимальной стратегии управления на всех стадиях процесса?

Ответы:

1. Метод множителей Лагранжа
2. Динамическое программирование
3. Методы исследования функций
4. Методы вариационного исчисления
5. Принцип максимума

Верный ответ: 2

4. По содержанию задачи оптимизации разнообразны, они могут быть связаны:

Ответы:

1. С проектированием технических устройств и технологических процессов
2. С распределением ограниченных ресурсов
3. С планированием работы предприятий
4. С решением проблем, возникающих в повседневной жизни человека

Верный ответ: 1,2,3,4

5. Какие существуют методы к постановке и решению оптимизационных задач?

Ответы:

1. Эмпирический подход
2. Метод множителей Лагранжа
3. Формализация
4. Принцип максимума

Верный ответ: 1,3

6. Функция в математическом программировании, для которой требуется найти экстремум, называется?

Ответы:

1. Целевая функция
2. Функция Эйлера
3. Функция Лапласа

Верный ответ: 1

7. Алгоритм перехода к новому опорному плану транспортной задачи, дающему меньшее значение функции потерь, до обнаружения оптимального плана называется...

Ответы:

1. Алгоритм двойственного симплекс-метода
2. Алгоритм улучшения плана транспортной задачи
3. Алгоритм метода Гомори
4. Алгоритм симплекс-метода

Верный ответ: 2

8. На какие группы разделяются методы оптимизации в зависимости от существования или отсутствия ограничений?

Ответы:

1. Полной и безусловной оптимизации
2. Полной и неполной оптимизации
3. Условной и безусловной оптимизации

4. Условной и частичной оптимизации

Верный ответ: 3

9. Метод оптимизации, в котором осуществляется переход задачи с ограничениями к задаче без ограничений - метод...

Ответы:

1. Классического анализа
2. Множителей Лагранжа
3. Линейного программирования
4. Нелинейного программирования

Верный ответ: 2

10. Последовательность этапов реализации оптимизационной задачи в порядке выполнения?

Ответы:

1. Проверка задачи на существование и единственность решения
2. Моделирование рассматриваемой физической ситуации
3. Анализ результата и интерполяция его в терминах физического содержания модели
4. Выбор подходящей математической процедуры для осуществления оптимизации
5. Реализация выбранной процедуры на практике

Верный ответ: 2,1,3,4,5

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу