

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

Направление подготовки/специальность: 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Наименование образовательной программы: Автоматизированные системы управления объектами тепловых и атомных электрических станций

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Оценочные материалы
по дисциплине
Моделирование объектов управления**

**Москва
2025**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Ягупова Ю.Ю.
	Идентификатор	R82c64655-YagupovaYY-1a0e61d5

Ю.Ю.
Ягупова

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Мезин С.В.
	Идентификатор	R420ae592-MezinSV-dc40cfee

С.В. Мезин

Заведующий
выпускающей кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Мезин С.В.
	Идентификатор	R420ae592-MezinSV-dc40cfee

С.В. Мезин

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. ПК-2 Способен участвовать в организации разработки, внедрения и сопровождения АСУТП, разработке мероприятий по повышению качества АСУ ТП и её элементов
- ИД-4 Применяет методы получения, сравнительного анализа моделей различной степени приближения и выбора наилучшей модели в зависимости от ее назначения

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Допуск к лабораторной работе

1. Введение. Основные понятия математического моделирования. Принципы построения моделей. (Лабораторная работа)
2. Модели гидродинамических процессов. Обобщенная математическая модель теплообменников . (Лабораторная работа)
3. Модели оборудования ТЭС и АЭС. (Лабораторная работа)
4. Модели одномерного потока. Модели передающей тепло стенки. (Лабораторная работа)

БРС дисциплины

2 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Введение. Основные понятия математического моделирования. Принципы построения моделей. (Лабораторная работа)
- КМ-2 Модели одномерного потока. Модели передающей тепло стенки. (Лабораторная работа)
- КМ-3 Модели гидродинамических процессов. Обобщенная математическая модель теплообменников . (Лабораторная работа)
- КМ-4 Модели оборудования ТЭС и АЭС. (Лабораторная работа)

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. Основные понятия математического моделирования					
Введение. Основные понятия математического моделирования		+	+	+	

Принципы построения математических моделей				
Принципы построения математических моделей	+	+	+	
Модели одномерного однофазного потока				
Модели одномерного однофазного потока	+	+	+	+
Модели теплопередающей стенки				
Модели теплопередающей стенки	+	+	+	+
Модели гидродинамических процессов				
Модели гидродинамических процессов		+	+	+
Обобщенная математическая модель теплообменников				
Обобщенная математическая модель теплообменников		+	+	+
Математическое моделирование процессов оборудования ТЭС				
Математическое моделирование процессов оборудования ТЭС	+	+	+	+
Математическое моделирование процессов оборудования АЭС				
Математическое моделирование процессов оборудования АЭС	+	+	+	+
Вес КМ:	25	25	25	25

БРС курсовой работы/проекта

2 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по курсовой работе:

- КМ-1 соблюдение графика выполнения КР
- КМ-2 соблюдение графика выполнения КР
- КМ-3 соблюдение графика выполнения КР
- КМ-4 соблюдение графика выполнения КР и качество оформления КР

Вид промежуточной аттестации – защита КР.

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	15
Расчет КЧХ потока внутри труб		+			
Расчет КЧХ стенки			+		

Расчет статики теплообменной поверхности			+	
Расчет КЧХ теплообменной поверхности				+
Вес КМ:	20	20	30	30

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
ПК-2	ИД-4 _{ПК-2} Применяет методы получения, сравнительного анализа моделей различной степени приближения и выбора наилучшей модели в зависимости от ее назначения	Знать: принципы и методы получения моделей теплотехнических объектов, способы упрощения моделей с анализом влияния допущений на точность модели влияние технологических особенностей и режимов работы теплообменных устройств на структуру и характеристики математической модели, способы сравнительного анализа моделей различной степени приближения Уметь: выбирать наилучшую математическую модель в зависимости от ее назначения применять методы	КМ-1 Введение. Основные понятия математического моделирования. Принципы построения моделей. (Лабораторная работа) КМ-2 Модели одномерного потока. Модели передающей тепло стенки. (Лабораторная работа) КМ-3 Модели гидродинамических процессов. Обобщенная математическая модель теплообменников . (Лабораторная работа) КМ-4 Модели оборудования ТЭС и АЭС. (Лабораторная работа)

		математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования при математическом моделировании объектов управления	
--	--	---	--

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. Введение. Основные понятия математического моделирования.

Принципы построения моделей.

Формы реализации: Допуск к лабораторной работе

Тип контрольного мероприятия: Лабораторная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Группа разделена на бригады для выполнения работы. Происходит устный опрос бригады на тему занятия.

Краткое содержание задания:

Работа ориентирована на проверку основных понятий математического моделирования

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: принципы и методы получения моделей теплотехнических объектов, способы упрощения моделей с анализом влияния допущений на точность модели	1.Основные понятия математического моделирования? Ответ: процесс, при котором описание объекта осуществляется на языке математики, а исследование модели проводится с использованием тех или иных математических методов. 2.Классификация моделей? Ответ: распределенные и сосредоточенные, линейные и нелинейные, статические и динамические. 3.Способы представления математических моделей? Ответ: системой дифференциальных уравнений, векторно-матричной формой, структурными схемами, сигнальными графами.
Уметь: выбирать наилучшую математическую модель в зависимости от ее назначения	1.Получить передаточные функции и построить графики изменения расхода и температуры воды на входе в котел 2.Разобрать СП модель трубопровода питательной воды в линейном приближении 3.Как изменится вид переходной характеристики по температуре воды, если рассматривается распределенная модель поток в трубопроводе

Описание шкалы оценивания:

Оценка: «зачтено»

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: «не зачтено»

Описание характеристики выполнения знания:

КМ-2. Модели одномерного потока. Модели передающей тепло стенки.

Формы реализации: Допуск к лабораторной работе

Тип контрольного мероприятия: Лабораторная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Группа разделена на бригады для выполнения работы. Происходит устный опрос бригады на тему занятия.

Краткое содержание задания:

Работа ориентирована на проверку моделей одномерного потока и модели передающей тепло стенки.

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: влияние технологических особенностей и режимов работы теплообменных устройств на структуру и характеристики математической модели, способы сравнительного анализа моделей различной степени приближения	1. В чем заключается метод двойного преобразования Лапласа?
Знать: принципы и методы получения моделей теплотехнических объектов, способы упрощения моделей с анализом влияния допущений на точность модели	1. Модели тепловых процессов одномерного однофазного потока? 2. Перечислите статические и динамические характеристики различных моделей потока. Ответ: с распределенными и сосредоточенными параметрами, точечные и многоточечные.
Уметь: применять методы математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования при математическом моделировании объектов управления	1. Определить передаточную функцию и динамические характеристики канала 2. Разобрать СП модель подогревателя в линейном приближении

Описание шкалы оценивания:

Оценка: «зачтено»

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: «не зачтено»

Описание характеристики выполнения знания:

КМ-3. Модели гидродинамических процессов. Обобщенная математическая модель теплообменников .

Формы реализации: Допуск к лабораторной работе

Тип контрольного мероприятия: Лабораторная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Группа разделена на бригады для выполнения работы. Происходит устный опрос бригады на тему занятия.

Краткое содержание задания:

Работа ориентирована на построение моделей гидродинамических процессов и обобщенной математической модели теплообменников.

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: влияние технологических особенностей и режимов работы теплообменных устройств на структуру и характеристики математической модели, способы сравнительного анализа моделей различной степени приближения	1.Виды теплообменников: Ответ: конвективные и радиационные, прямоточные и противоточные, с однофазными и двухфазными теплоносителями 2.Выбор метода решения модели теплообменника
Знать: принципы и методы получения моделей теплотехнических объектов, способы упрощения моделей с анализом влияния допущений на точность модели	1.Опишите модели гидродинамических процессов несжимаемых, слабо сжимаемых и сжимаемых потоков
Уметь: выбирать наилучшую математическую модель в зависимости от ее назначения	1.Разработать СП модель подогревателя в линейном приближении 2.Определить передаточную функцию и динамические характеристики канала

Описание шкалы оценивания:

Оценка: «зачтено»

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: «не зачтено»

Описание характеристики выполнения знания:

КМ-4. Модели оборудования ТЭС и АЭС.

Формы реализации: Допуск к лабораторной работе

Тип контрольного мероприятия: Лабораторная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Группа разделена на бригады для выполнения работы. Происходит устный опрос бригады на тему занятия.

Краткое содержание задания:

Работа ориентирована на описание моделей ТЭС и АЭС

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: влияние технологических особенностей и	1.Динамические характеристики

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
режимов работы теплообменных устройств на структуру и характеристики математической модели, способы сравнительного анализа моделей различной степени приближения	различных поверхностей котла? 2.В чем особенности моделирования динамики циркуляционного контура? 3.Опишите структуру математической модели энергоблока с реактором ВВЭР
Уметь: применять методы математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования при математическом моделировании объектов управления	1.Разработать линейную модель объекта, состоящую из РП модели потока и точечных моделей труб и корпуса 2.Получить передаточную функцию и динамические характеристики канала “радиационный поток – температура потока в среднем сечении трубы”

Описание шкалы оценивания:

Оценка: «зачтено»

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: «не зачтено»

Описание характеристики выполнения знания:

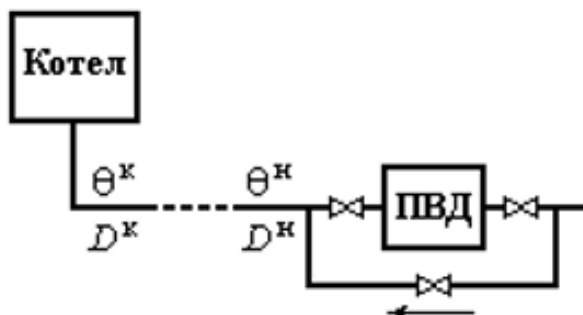
СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

2 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

Задача



В линии питательной воды аварийно отключился подогреватель высокого давления (ПВД). В результате на входе в трубопровод ступенчатым образом изменились расход и температура воды.

1. Разработать СП модель трубопровода питательной воды в линейном приближении. Считать коэффициент теплоотдачи, плотность воды и теплоемкость постоянными. Потерями тепла в окружающую среду пренебречь.
2. Получить передаточные функции и построить графики изменения расхода и температуры воды на входе в котел.
3. Как изменится вид переходной характеристики по температуре воды, если рассматривается распределенная модель потока в трубопроводе?

Вопросы

1. Какие процессы в теплообменнике описывает данная система уравнений?

$$V \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial D}{\partial z} = 0;$$

$$\frac{\partial P}{\partial z} + \xi \frac{D^2}{\rho} = 0.$$

2. Запишите для системы предыдущего вопроса уравнения модели статики.
3. Перечислите допущения, принятые для уравнения

$$\left[\frac{\partial P}{\partial z} + \xi \frac{D^2}{\rho} = 0 \right]$$

4. Какому каналу и каким моделям соответствуют передаточные функции

$$W_1(p) = \frac{1}{\tau p + 1 + St} \quad \text{и} \quad W_2(p, s) = \frac{1}{\tau p + s + St} ?$$

5. Какой закон физики отражает данное уравнение:

$$= V\rho \frac{\partial i}{\partial t} + D \frac{\partial i}{\partial z} = \alpha H(\vartheta - \theta) ?$$

6. Классифицируйте модель, представленную уравнением

$$\tau \frac{\partial \Delta \theta}{\partial t} + \frac{\partial \Delta \theta}{\partial z} + St \Delta \theta = St \Delta \vartheta - k_D \Delta D .$$

7. Для преобразованной по Лапласу системы уравнений

$$\begin{cases} \theta_2^*(p) = W_2(p) \theta_2^u(p) + St_2 W_2(p) \vartheta(p) - k_{D2} W_2(p) D_2(p); \\ \vartheta(p) = k_1 W_m(p) \theta_{1s}(p) + k_2 W_m(p) \theta_2^*(p) \end{cases}$$

построить сигнальный граф и найти передаточную функцию теплообменника по каналу

8. Постройте линейную модель уравнения

$$\rho_m c_m \delta \frac{d\vartheta}{dt} = \alpha_1 (\theta_1 - \vartheta) - \alpha_2 (\vartheta - \theta_2);$$

, учитывающую нелинейность зависимости (k и m константы).

9. Когда целесообразно применять двойное преобразование Лапласа?

10. Покажите на примере годографов КЧХ потока, что СП модель дает низкую точность по сравнению с РП моделью.

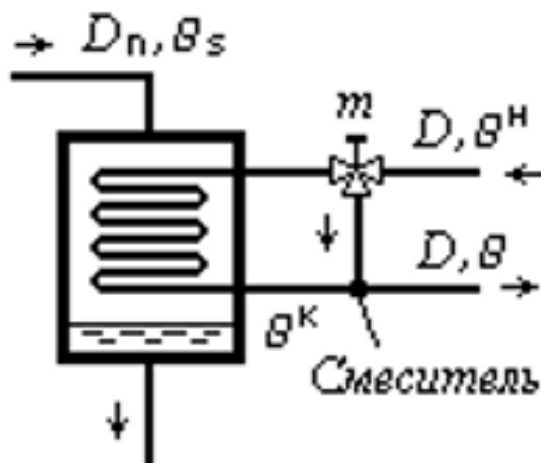
Процедура проведения

Проводится в письменной форме по билетам в виде подготовки и изложения развернутого ответа. Время на выполнение экзаменационного подготовку ответа – 60 минут.

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

1. Компетенция/Индикатор: ИД-4ПК-2 Применяет методы получения, сравнительного анализа моделей различной степени приближения и выбора наилучшей модели в зависимости от ее назначения

Вопросы, задания



1.

Трехходовой клапан с линейной расходной характеристикой изменяет соотношение подогреваемого и холодного потоков воды, поступающих в смеситель. Подогрев воды осуществляется за счет конденсации греющего пара, находящегося на линии насыщения при постоянном давлении. Корпус подогревателя выполнен из теплоизолирующего материала.

1. Разработать СП модель подогревателя в линейном приближении. Считать давление пара, коэффициент теплоотдачи, плотность и теплоемкость воды постоянными. Потерями тепла в окружающую среду пренебречь.
2. Определить передаточную функцию и динамические характеристики канала
3. Как изменится вид переходной характеристики канала, если рассматривается распределенная модель потока воды в подогревателе?
- 2.Какая модель необходима для исследования аварийных режимов?
- 3.Какое допущение обычно принимается при описании радиационного теплообменника?
- 4.Какая модель необходима для исследования режимов пуска?
- 5.В чем заключается особенность расчета статического распределения температур противоточного конвективного теплообменника с однофазными теплоносителями?
- 6.Можно ли использовать модель прямоточного КТО для расчета противоточного экономайзера котла?

Материалы для проверки остаточных знаний

- 1.Что такое математическое моделирование объекта?

Ответы:

- а) условное описание объекта
- б) строительство объекта
- в) построение модели, обладающей свойствами, подобными свойствам рассматриваемой системы и записанной в виде символов с помощью системы математических соотношений

Верный ответ: ответ: в

2. Что представлено в данной формуле?

$$St = \frac{\alpha H}{c_p D}$$

Ответы:

- а) число Стентона
- б) температура теплопередающей стенки
- в) температура нарезного теплоносителя

Верный ответ: ответ: а

3. Что представлено в данной формуле?

$$\tau_2 = \frac{V_2 \cdot \rho_2}{D_2}$$

Ответы:

- а) постоянная времени потока, равная времени прохождения потока по трубе
- б) температура теплопередающей стенки
- в) температура нарезного теплоносителя

Верный ответ: ответ: а

4. Какое уравнение представлено ниже?

$$V_2 \cdot \rho_2 \cdot c_{p2} \cdot \frac{\partial \theta_2}{\partial t} + D_2 \cdot c_{p2} \cdot \frac{\partial \theta_2}{\partial z_n} = -q_2 \cdot H_2$$

Ответы:

- а) уравнение сохранения массы
- б) уравнение сохранения энергии
- в) уравнения количества движения

Верный ответ: ответ: б

5. Какое уравнение представлено ниже?

$$V_2 \cdot \frac{\partial \rho_2}{\partial t} + \frac{\partial D_2}{\partial z_n} = 0$$

Ответы:

- а) уравнение сохранения массы
- б) уравнение сохранения энергии
- в) уравнения количества движения

Верный ответ: ответ: а

6. Какое уравнение представлено ниже?

$$\frac{\partial P_2}{\partial z_H} + \xi_2 \cdot \frac{D_2^2}{\rho_2} = 0$$

Ответы:

- а) уравнение сохранения массы
- б) уравнение сохранения энергии
- в) уравнения количества движения

Верный ответ: ответ: в

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Оценка «ОТЛИЧНО» выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание, который показал при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач.

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

Описание характеристики выполнения знания: Оценка «ХОРОШО» выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание и в основном правильно ответившему на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом не принципиальные ошибки.

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется студенту, который в ответах на вопросы экзаменационного билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам, а также не выполнил практическое задание из экзаменационного билета, но либо наметил правильный путь его выполнения, либо по указанию экзаменатора решил другую задачу из того же раздела дисциплины.

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется студенту, который: а) не ответил на вопросы экзаменационного билета и не смог решить, либо наметить правильный путь решения задачи из билета; б) не смог решить, либо наметить правильный путь решения задачи из экзаменационного билета и другой задачи на тот же раздел дисциплины, выданной взамен нее; в) при ответе на дополнительные вопросы обнаружил незнание большого раздела экзаменационной программы.

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

0,2х(среднеарифметическая оценка за лабораторные работы и опросы) + 0,3 х оценка за курсовую работу + 0,5 х оценка на экзамене.).

Для курсового проекта/работы:

2 семестр

Форма проведения: Защита КП/КР

I. Процедура защиты КП/КР

1. Составить структурную схему математической модели заданного объекта (Л.1, § 5.1 или Л.2, § 4.1). 2. Представить таблицу исходных данных. 3. Записать исходные нелинейные уравнения динамики для а) основного теплоносителя (внутри труб); б) теплопередающей стенки; в) наружного теплоносителя (Л.1, § 5.1 или Л.2, § 4.1). 4. Перечислить принятые допущения при выводе уравнений п. 3. (Л.1, § 1.4 или Л.2, § 1.3). 5. Записать уравнение энергии основного теплоносителя а) в линейном распределенном приближении; б) в линейном точечном приближении. Получить передаточные функции и КЧХ моделей основного теплоносителя по заданным преподавателем каналам. Составить программу и выполнить расчеты на ЭВМ (Л.1, §§ 2.1, 2.2 или Л.2, §§ 2.1, 2.4). 6. Выполнить аналогичное п. 5 задание для теплопередающей стенки труб. (Л.1, § 3.3; Л.2, §§ 3.1—3.3; Л.4). 7. Получить из исходной системы уравнений модель статики объекта. Перечислить дополнительно принятые упрощения (Л.1, § 5.3, § 5.4—5.6). Составить программу и рассчитать на ЭВМ распределение по длине параметров по заданным преподавателем каналам. Выполнить аналогичные расчеты с помощью программного обеспечения КВЛ АСУ ТП. Сравнить результаты. Сделать выводы. 8. Записать модель заданного объекта в целом в линейном распределенном приближении при согласованных с преподавателем допущениях (Л.1, § 5.4—5.6; Л.2 и Л.3). Получить передаточные функции и выражения для КЧХ заданных каналов. Составить программу и рассчитать на ЭВМ частотные характеристики каналов. Построить годографы КЧХ. Выполнить аналогичные расчеты с помощью программного обеспечения КВЛ АСУ ТП. Сравнить результаты расчетов. Сделать выводы. 9. Получить математическую модель объекта в точечном линейном приближении (Л.1, §§ 5.4—5.6; Л.2, § 4.3; Л.3 и Л.4). Составить программу и рассчитать на ЭВМ КЧХ точечной модели аналогичных п. 8 каналов. Построить годографы КЧХ. Выполнить сравнение динамики распределенной и точечной модели. Сделать выводы.

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: «зачтено»

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: «не зачтено»

Описание характеристики выполнения знания:

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу