

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

Направление подготовки/специальность: 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Наименование образовательной программы: Техника и электрофизика высоких напряжений

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Оценочные материалы
по дисциплине
Математическое моделирование в технике и электрофизике высоких
напряжений и высоковольтных электротехнологиях**

**Москва
2024**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Белогловский А.А.
	Идентификатор	R86421057-BeloglovskyAA-22f7dae

А.А.
Белогловский

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Лебедева Н.А.
	Идентификатор	R75716a03-LebedevaNA-9930664

Н.А.
Лебедева

Заведующий
выпускающей кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Темников А.Г.
	Идентификатор	Ra0abb123-TemnikovAG-2d4db00

А.Г.
Темников

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-1 Способен принимать участие в проведении научных исследований в области объектов профессиональной деятельности (техники и электрофизики высоких напряжений)
- ИД-3 Демонстрирует знания и умения использовать методы численного моделирования в научных исследованиях в области техники и электрофизики высоких напряжений

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Письменная работа

1. Защита лабораторной работы №1: «Оптимизация параметров системы электродов при помощи численных методов математического программирования» (Лабораторная работа)
2. Защита лабораторной работы №2: «Расчёт потенциала и напряжённости электрического поля заданной системы зарядов, распределённых в пространстве» (Лабораторная работа)
3. Защита лабораторной работы №3: «Расчёт переходного процесса в электрической цепи с сосредоточенными параметрами» (Лабораторная работа)
4. Защита лабораторной работы №4: «Расчёт переходного процесса в электрической цепи с распределёнными параметрами» (Лабораторная работа)
5. Защита расчётного задания: «Расчёт и анализ электрических полей в изоляционных конструкциях установок высокого напряжения с газовой изоляцией» (Расчётно-графическая работа)
6. Контрольная работа: «Решение линейных и нелинейных уравнений и их систем» (Контрольная работа)
7. Тест: «Математическое моделирование, понятие, задачи и схема вычислительного эксперимента, его место в ТЭВН» (Тестирование)

БРС дисциплины

2 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %							
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7
	Срок КМ:	2	3	5	8	12	15	16
Введение в математическое моделирование в ТЭВН и ВВЭТ								
Введение в математическое моделирование в ТЭВН и ВВЭТ	+							
Методы решения линейных и нелинейных уравнений и их систем								

Методы решения линейных и нелинейных уравнений и их систем		+	+	+			
Основы решения нелинейных задач математического программирования							
Основы решения нелинейных задач математического программирования		+	+	+			
Приближённое вычисление определённых интегралов функций одной переменной							
Приближённое вычисление определённых интегралов функций одной переменной		+	+	+			
Численные методы решения задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений							
Численные методы решения задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений					+	+	
Дифференциальные уравнения в частных производных и их применение в ТЭВН и ВВЭТ							
Дифференциальные уравнения в частных производных и их применение в ТЭВН и ВВЭТ					+	+	
Интегральные методы расчёта электрических полей							
Интегральные методы расчёта электрических полей							+
Вес КМ:	10	20	10	10	10	10	30

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

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-1	ИД-ЗПК-1 Демонстрирует знания и умения использовать методы численного моделирования в научных исследованиях в области техники и электрофизики высоких напряжений	Знать: математические модели и применяемые для их дискретизации интегральные численные методы, позволяющие вычислять параметры электрических полей электроэнергетических и электрофизических УВН численные методы решения задач математического программирования, вычисления определённых интегралов функций, решения линейных и нелинейных уравнений и их систем, применяемые при выполнении вычислительных экспериментов характерные математические модели электрических цепей УВН,	Тест: «Математическое моделирование, понятие, задачи и схема вычислительного эксперимента, его место в ТЭВН» (Тестирование) Контрольная работа: «Решение линейных и нелинейных уравнений и их систем» (Контрольная работа) Защита лабораторной работы №1: «Оптимизация параметров системы электродов при помощи численных методов математического программирования» (Лабораторная работа) Защита лабораторной работы №2: «Расчёт потенциала и напряжённости электрического поля заданной системы зарядов, распределённых в пространстве» (Лабораторная работа) Защита лабораторной работы №3: «Расчёт переходного процесса в электрической цепи с сосредоточенными параметрами» (Лабораторная работа) Защита лабораторной работы №4: «Расчёт переходного процесса в электрической цепи с распределёнными параметрами» (Лабораторная работа) Защита расчётного задания: «Расчёт и анализ электрических полей в изоляционных конструкциях установок высокого напряжения с газовой изоляцией» (Расчётно-графическая работа)

		методы дискретизации этих моделей и вычислительные алгоритмы расчёта токов и напряжений в них, как инструментов, позволяющих прогнозировать свойства и поведение УВН понятие, основные этапы и средства проведения вычислительного эксперимента, как современного метода исследования электрофизических процессов в технике высоких напряжений Уметь: рассчитывать, анализировать и регулировать электрические поля электроэнергетических и электрофизических УВН с целью ограничения воздействия их полей на население и персонал ставить задачи исследования, выбирать в соответствии с ними и использовать численные методы решения задач	
--	--	---	--

		математического программирования, вычисления определённых интегралов функций, решения линейных и нелинейных уравнений и их систем, применяемые при выполнении вычислительных экспериментов формулировать математические модели, применять интегральные численные методы для их дискретизации и реализовывать их в виде программ для ЭВМ для расчёта параметров электрических полей электроэнергетических и электрофизических УВН с целью прогнозирования их свойств и поведения формулировать математические модели электрических цепей с сосредоточенными и распределёнными параметрами, применять методы их дискретизации для численного определения токов и напряжений в цепях с	
--	--	--	--

		целью прогнозирования их свойств и поведения	
--	--	---	--

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. Тест: «Математическое моделирование, понятие, задачи и схема вычислительного эксперимента, его место в ТЭВН»

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Тестирование

Вес контрольного мероприятия в БРС: 10

Процедура проведения контрольного мероприятия: Вариант задания выдаётся студенту в аудитории (отправляется почтой ОСЭП). Студент подготавливает письменный развёрнутый ответ и сдаёт на проверку преподавателю (отправляет фотографию или скан задания почтой ОСЭП). Время выполнения - 60 минут.

Краткое содержание задания:

Тест включает в себя три различных вопроса, охватывающих следующие темы:

- 1 Математическое моделирование и вычислительный эксперимент, их роль в различных областях ТЭВН и ВВЭТ;
- 2 Дифференциальные уравнения в частных производных и формулируемые с их использованием типичные математические модели электрофизических процессов в ТЭВН и ВВЭТ;
- 3 Схема вычислительного эксперимента;
- 4 Вычислительный алгоритм;
- 5 Требования к вычислительным методам;
- 6 Погрешности округления вещественных чисел в компьютере, накопление таких погрешностей и его влияние на свойства вычислительных методов.

Контрольные вопросы/задания:

Знать: понятие, основные этапы и средства проведения вычислительного эксперимента, как современного метода исследования электрофизических процессов в технике высоких напряжений	1.Что такое вычислительный эксперимент? Перечислите его этапы, приведите принципиальную схему вычислительного эксперимента. Охарактеризуйте место вычислительного эксперимента в ТЭВН. 2.Что такое вычислительный алгоритм? В чём заключается понятие его устойчивости? 3.Перечислите и охарактеризуйте погрешности, возникающие в ходе реализации вычислительного алгоритма. 4.Что такое вычислительный эксперимент? Каковы его этапы? Каково место вычислительного эксперимента в ТЭВН? 5.Что такое численный метод? Какова роль выбора численного метода в вычислительном эксперименте? 6.Сформулируйте требования, предъявляемые к численным методам и вычислительным алгоритмам. 7.Запишите и поясните математическую модель внешней области униполярного коронного разряда. 8.Запишите и поясните математическую модель переходного процесса зарядки конденсатора через последовательно соединённые с ним индуктивность и сопротивление при подключении в цепь ЭДС.
---	---

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Тест считается выполненным на оценку «Отлично» если выполнены следующие условия: - даны правильные ответы не менее чем на 90% вопросов теста, исключая вопросы, на которые студент должен дать свободный ответ; - на все вопросы, предполагающие свободный ответ, студент дал правильный и полный ответ.

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Тест считается выполненным на оценку «Хорошо» если выполнены следующие условия: - даны правильные ответы не менее чем на 75% вопросов теста, исключая вопросы, на которые студент должен дать свободный ответ; - на все вопросы, предполагающие свободный ответ, студент дал правильный ответ, но допустил незначительные ошибки и не показал необходимой полноты.

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Тест считается выполненным на оценку «Удовлетворительно» если выполнены следующие условия: - даны правильные ответы не менее чем на 50% вопросов теста, исключая вопросы, на которые студент должен дать свободный ответ; - на все вопросы, предполагающие свободный ответ, студент дал непротиворечивый ответ, или при ответе допустил значительные неточности и не показал полноты.

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Тест считается выполненным на оценку «Неудовлетворительно» если студентом не выполнены условия, предполагающие оценку «Удовлетворительно».

КМ-2. Контрольная работа: «Решение линейных и нелинейных уравнений и их систем»

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: Проводится в письменной форме в виде изложения развернутого ответа на вопросы задания. Время на подготовку ответа – 60 минут.

Краткое содержание задания:

Контрольная работа состоит из двух задач и посвящена методам решения линейных и нелинейных уравнений и их систем. Рассматриваются такие темы, как:

- 1 Решение систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ);
- 2 Прямые методы решения СЛАУ;
- 3 Метод Гаусса численного решения СЛАУ и условия его применимости;
- 4 Обусловленность СЛАУ и устойчивость её решения. Число обусловленности;
- 5 Влияние погрешностей округления при решении СЛАУ методом Гаусса;
- 6 Методы регуляризации;
- 7 Итерационные методы решения СЛАУ и условия их сходимости;
- 8 Итерационные методы решения нелинейных уравнений и их систем, метод Ньютона 1-го порядка точности и его сходимость.

Контрольные вопросы/задания:

Знать: численные методы решения задач математического программирования, вычисления определённых интегралов функций, решения линейных и нелинейных уравнений и их систем, применяемые при выполнении вычислительных экспериментов	1.Метод Гаусса для решения систем линейных алгебраических уравнений. 2.Метод Якоби для решения систем линейных алгебраических уравнений и условие его сходимости. 3.Метод Зейделя для решения систем линейных алгебраических уравнений и условие его сходимости. 4.Метод верхней релаксации для решения систем линейных алгебраических уравнений и условие его сходимости. 5.Обусловленность системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) и устойчивость её решения. Число обусловленности. 6.Понятие о регуляризации системы линейных алгебраических уравнений. 7.Итерационные методы решения нелинейных уравнений и их систем, метод Ньютона 1-го порядка точности и его сходимость.
Уметь: ставить задачи исследования, выбирать в соответствии с ними и использовать численные методы решения задач математического программирования, вычисления определённых интегралов функций, решения линейных и нелинейных уравнений и их систем, применяемые при выполнении вычислительных экспериментов	1.Решите методом Гаусса следующую систему линейных алгебраических уравнений: $\begin{aligned} 5x_1 + 4x_2 + 2x_3 &= 20, \\ 4x_1 + 10x_2 + 6x_3 &= 15, \\ 2x_1 + 6x_2 + 5x_3 &= 10. \end{aligned}$ 2.Найдите методом Ньютона корень нелинейного уравнения: $F(x) = x \times \ln(x) - 1 = 0$ на отрезке: $0 \leq x \leq 2$. Указание: задайтесь начальным приближением $x = 1$ и $\varepsilon = 0,01$. 3.Решите итерационным методом Зейделя следующую систему линейных алгебраических уравнений: $\begin{aligned} 5x_1 + 4x_2 + 2x_3 &= 20, \\ 4x_1 + 10x_2 + 6x_3 &= 15, \\ 2x_1 + 6x_2 + 5x_3 &= 10. \end{aligned}$ 4.Найдите методом Ньютона корень нелинейного уравнения: Указание: задайтесь начальным приближением $x_1 = 4, x_2 = -1, x_3 = 2$ и $\varepsilon = 0,01$.

	$F(x) = x \times \sin(2x-1) - 1/2 = 0$ на отрезке: $0,5 \leq x \leq 1,0$. Указание: задайтесь начальным приближением $x = 0,5$ и $\varepsilon = 0,01$.
--	--

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Контрольная работа считается выполненной на оценку «Отлично», если студент правильно выполнил практическое задание (задания) и показал при ответе на вопросы, что владеет материалом изучаемой дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач.

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Контрольная работа считается выполненной на оценку «Хорошо», если студент правильно выполнил практическое задание (задания) и в основном правильно ответил на вопросы, но допустил при этом не принципиальные ошибки.

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Контрольная работа считается выполненной на оценку «Удовлетворительно», если студент в ответах на вопросы допустил существенные ошибки, а также не выполнил практическое задание (задания), но наметил правильный путь его выполнения.

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Контрольная работа считается выполненной на оценку «Неудовлетворительно», если студент не ответил, либо неверно ответил, на вопросы и не смог решить задачу, либо наметить правильный путь её решения

КМ-3. Защита лабораторной работы №1: «Оптимизация параметров системы электродов при помощи численных методов математического программирования»

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Лабораторная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 10

Процедура проведения контрольного мероприятия: Проводится в письменной форме в виде изложения развернутого ответа на вопросы задания. Время на подготовку ответа – 60 минут.

Краткое содержание задания:

Тема: «Оптимизация параметров системы электродов при помощи численных методов математического программирования».

1. ЗАДАНИЕ НА ПРЕДВАРИТЕЛЬНУЮ ПОДГОТОВКУ

1. Ознакомьтесь с методикой расчёта электрических полей тонких проводников круглого сечения.
2. Ознакомьтесь с методикой решения задач безусловной оптимизации методом Ньютона 2-го порядка.
3. Составьте математическую модель решаемой задачи, сформулированной ниже в разделе «Индивидуальные варианты заданий».

4. На базе построенной математической модели определите целевую функцию и ограничения задачи.

Указание. Вариант задания выбирается в разделе 3 в соответствии с номером бригады.

2. ЗАДАНИЕ НА ВЫПОЛНЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Разработайте вычислительный алгоритм отыскания экстремума целевой функции, записанной в результате выполнения предыдущего пункта задания, методом Ньютона 2-го порядка.

2. Реализуйте разработанный вычислительный алгоритм решения поставленной оптимизационной задачи на компьютере в виде программы в среде MATLAB.

3. Выполните с её помощью необходимые расчёты в соответствии с выбранными вариантами заданий.

4. Подготовьте отчёт о проделанной работе. Отчет должен содержать: титульный лист, задание, описание математической модели, принятой для решения задачи, вывод целевой функции, вычислительный алгоритм отыскания её экстремума целевой функции методами Ньютона 2-го порядка, график целевой функции, график, характеризующий сходимость метода Ньютона при решении конкретной задачи, программу её решения в среде MATLAB.

Указания.

1. Предельное расхождение последовательных приближений к решению задачи безусловной оптимизации в условиях сходимости итераций принимается равным $\varepsilon = 10^{-6}$.

2. Каждый студент выполняет и представляет к защите индивидуальный отчёт, выполненный в соответствии с заданием. Отчёт представляется в печатной форме; выполнять отчёты лишь в электронной форме недопустимо.

3. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

3.1. Вариант 1

Рассчитайте значение расстояния d между проводами расщеплённой фазы трёхпроводной воздушной линии электропередачи (рис. 1) с номинальным напряжением $U_{ном}=330$ кВ, отвечающее требованию минимизации наибольшего значения напряжённости электрического поля на поверхности провода. Фазы расщеплены на 2 составляющие радиусом $r_0=0,015$ м (рис. 2). Расстояние между ними равно $a=7$ м, а высота их подвеса – $h=8$ м. Расчёт выполняется в предположении, что максимальное напряжение приложено к центральной фазе. Землю можно считать идеально проводящей, а её потенциал – равным нулю.

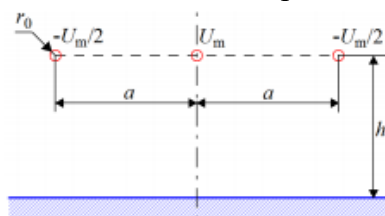


Figure 1 Рис. 1. К расчёту электрического поля трёхпроводной воздушной линии электропередачи

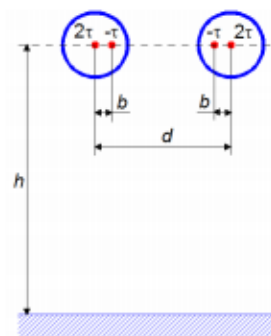


Figure 2 Рис. 2. К расчёту электрического поля одиночного фазного провода, расщеплённого на 2 составляющие

3.2. Вариант 2

Рассчитайте значение расстояния d между проводами расщеплённой фазы трёхпроводной воздушной линии электропередачи (рис. 1) с номинальным напряжением $U_{ном}=500$ кВ, отвечающее требованию минимизации наибольшего значения напряжённости электрического поля на поверхности провода. Фазы расщеплены на 3 составляющие радиусом $r_0=0,02$ м (рис. 3.а). Расстояние между ними равно $a=8$ м, а высота их подвеса – $h=10$ м. Расчёт выполняется в предположении, что максимальное напряжение приложено к центральной фазе. Землю можно считать идеально проводящей, а ее потенциал – равным нулю.

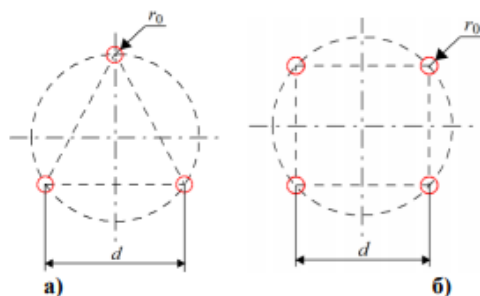


Figure 3 Рис. 3. К расчёту электрического поля одиночной фазы, расщеплённой на 3 (а) и на 4 (б) составляющие

3.3. Вариант 3

Вычислите значение расстояния d между проводами расщеплённой фазы биполярной двухпроводной воздушной линии электропередачи (рис. 4), удовлетворяющее требованию минимизации напряжённости электрического поля на поверхности провода. Фазы расщеплены на 4 составляющие радиусом $r_0=0,02$ м (рис. 3.а). К проводам ВЛ приложено напряжение $U=\pm 250$ кВ. Расстояние между фазами равно $a=8$ м, а высота их подвеса – $h=10$ м. Землю можно считать идеально проводящей, а ее потенциал – равным нулю.

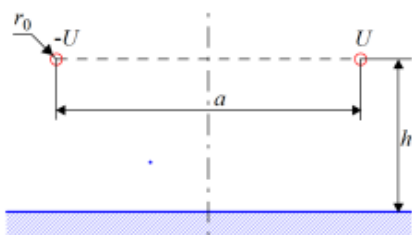


Figure 4 Рис. 4. К расчёту электрического поля биполярной воздушной линии электропередачи

3.4. Вариант 4

Определите значение радиуса r_0 одиночного провода биполярной двухпроводной ошиновки (рис. 4), удовлетворяющее требованию максимизации начального напряжения

возникновения коронного разряда на поверхности провода. Значение начальной напряжённости поля E_0 вычисляется в В/см по формуле:

$$E_0(r_0) = 24,5 \cdot 10^3 \times \delta \left[1 + \frac{0,65}{(r_0 \times \delta)^{0,38}} \right],$$

где δ – относительная плотность воздуха (в данном случае $\delta=1$), а значение r_0 измеряется в сантиметрах. Расстояние между проводами линии равно $a=0,5$ м, а высота их подвеса – $h=5$ м. Землю можно считать идеально проводящей, а её потенциал – равным нулю.

3.5. Вариант 5

Вычислите высоту h подвеса тросового электростатического экрана (рис. 5), которая удовлетворяла бы требованию минимизации напряжённости поля в расчетной точке M . Экран заземлен и состоит из 2 тросов радиусом $r_0=0,01$ м, расстояние между которыми равно $a=1$ м; $h_0=1,8$ м. Напряженность внешнего электрического поля, однородного в отсутствие экрана, равна $E_0=10$ кВ/м. Землю можно считать идеально проводящей. Ее потенциал (и, соответственно, потенциал экрана) полагается равным нулю.

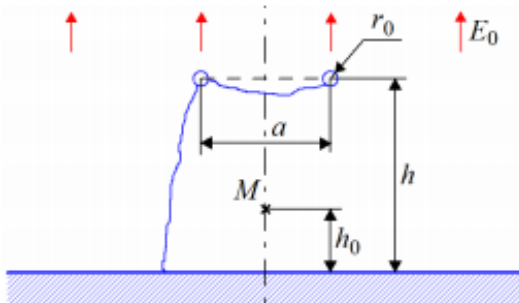


Рис. 5. К расчету поля под тросовым электростатическим экраном из 2 тросов

3.6. Вариант 6

Найдите расстояние a между тросами электростатического экрана (рис. 6), которое удовлетворяло бы требованию минимизации напряжённости поля в расчетной точке M . Экран заземлен и состоит из 3 тросов радиусом $r_0=0,008$ м, высота подвеса которых равна $h=4$ м; $h_0=1,8$ м. Напряженность внешнего электрического поля, однородного в отсутствие экрана, равна $E_0 = 15$ кВ/м. Землю можно считать идеально проводящей. Ее потенциал (и, соответственно, потенциал экрана) полагается равным нулю.

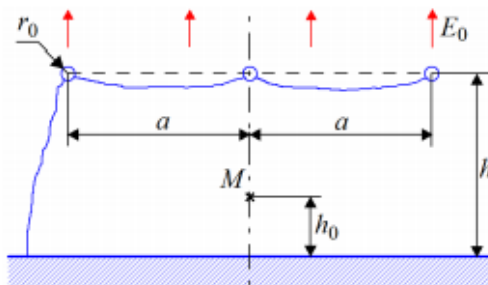


Figure 5 Рис. 6. К расчету поля под тросовым электростатическим экраном из 3 тросов

Контрольные вопросы/задания:

Знать: численные методы решения задач математического программирования, вычисления определённых интегралов функций, решения линейных и нелинейных уравнений и их	1.Сформулируйте общую постановку задачи математического программирования. В чём состоит различие между задачами условной и безусловной оптимизации? 2.В чём заключаются особенности решения задачи математического программирования с
--	--

систем, применяемые при выполнении вычислительных экспериментов	ограничениями в виде равенств и в виде неравенств? 3.Перечислите основные этапы решения задач математического программирования. 4.Для чего предназначен метод Лагранжа? Поясните его основные положения. 5.Сформулируйте общий подход к численному решению задачи безусловной оптимизации. 6.Как выполняется численное решение задачи безусловной оптимизации методом Ньютона 2-го порядка точности? 7.В чём заключается условие сходимости итераций при использовании этого метода? Как её улучшить? 8.Как выполняется численное решение задачи безусловной оптимизации методом сопряжённых градиентов?
Уметь: ставить задачи исследования, выбирать в соответствии с ними и использовать численные методы решения задач математического программирования, вычисления определённых интегралов функций, решения линейных и нелинейных уравнений и их систем, применяемые при выполнении вычислительных экспериментов	1.Найдите методом Ньютона 2-го порядка экстремум функции $F(x)=x*\exp(-2x)$ на отрезке $0\leq x\leq 1$, задавшись начальным приближением $x=0,8$ и $\epsilon=0,01$. 2.Найдите методом Ньютона 2-го порядка экстремум функции $F(x)=\exp(x)/x$ на отрезке $0,1\leq x\leq 1,0$, задавшись начальным приближением $x=0,8$ и $\epsilon=0,01$.

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

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

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

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

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2

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

КМ-4. Защита лабораторной работы №2: «Расчёт потенциала и напряжённости электрического поля заданной системы зарядов, распределённых в пространстве»

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Лабораторная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 10

Процедура проведения контрольного мероприятия: Проводится в письменной форме в виде изложения развернутого ответа на вопросы задания. Время на подготовку ответа – 60 минут.

Краткое содержание задания:

Тема: «Расчёт потенциала и напряжённости электрического поля заданной системы зарядов, распределённых в пространстве».

1. ЗАДАНИЕ НА ПРЕДВАРИТЕЛЬНУЮ ПОДГОТОВКУ

1. Для заданных условий задачи получите выражения для потенциала и напряжённости электрического поля в расчетной точке.
2. Получите точные выражения для потенциала и напряжённости электрического поля в расчетной точке, вычислив аналитически определенные интегралы, фигурирующие в выражениях, полученных в пункте 1.
3. Разработайте алгоритм приближенного расчета потенциала и напряжённости электрического поля в расчетной точке с использованием методов трапеций и Симпсона для вычисления значений определенных интегралов, фигурирующих в выражениях, полученных в пункте 1.

Указания.

1. Вариант задания выбирается в соответствии с номером бригады. Индивидуальные варианты приведены в разделе 3.

2. ЗАДАНИЕ НА ВЫПОЛНЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Реализуйте разработанный в пункте 3 предварительной подготовки алгоритм решения поставленной задачи на компьютере.
2. В соответствии с полученными заданиями сделайте необходимые расчеты.
3. Сопоставьте результаты точного аналитического и приближенного численного расчета, сделайте выводы о точности численного расчета с использованием методов трапеций и Симпсона, о количестве последовательных шагов вычислений, необходимом в этих случаях.
4. Подготовьте отчет о проделанной работе. Отчет должен содержать: задание, вывод точных аналитических выражений для потенциала и напряжённости электрического поля в расчетной точке, детальное описание алгоритма их приближенного численного расчета, результаты расчета и сопоставления результатов точного и приближенного расчета, а также выводы. Указание. Каждый студент выполняет и представляет к защите индивидуальный отчет, выполненный в соответствии с заданием. Отчет представляется в печатной форме; выполнять отчеты лишь в электронной форме недопустимо.

3. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

3.1. Вариант 1

Рассчитайте потенциал и напряженность электрического поля в точке А, удаленной от равномерно заряженного отрезка длиной $L=1$ м с $\tau=10^{-6}$ Кл/м на расстояние $a=0,01$ м (см. рис. 1). Допустимая погрешность δ приближенного вычисления интегралов, входящих в полученные выражения, равна $\delta=1,0 \cdot 10^{-6}$.

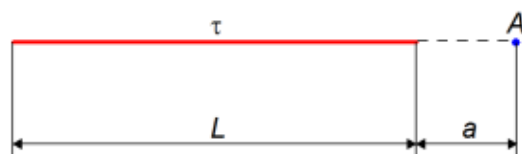


Рис. 1.

3.2. Вариант 2

Рассчитайте потенциал и напряженность электрического поля в точке А, удаленной от равномерно заряженного отрезка длиной $L=1,5$ м с $\tau=1,3 \cdot 10^{-6}$ Кл/м на расстояние $a=0,1$ м (см. рис. 2). Допустимая погрешность δ приближенного вычисления интегралов, входящих в полученные выражения, равна $\delta=10^{-5}$.

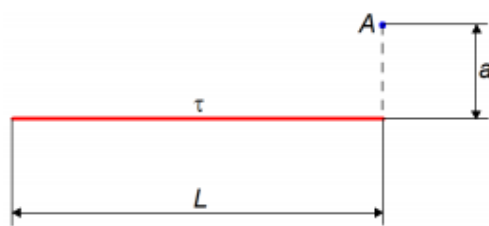


Рис. 2.

3.3. Вариант 3

Рассчитайте потенциал и напряженность электрического поля в точке А, удаленной от равномерно заряженного отрезка длиной $L = 2$ м с $\tau = 5 \cdot 10^{-6}$ Кл/м на расстояние $a = 1$ м (см. рис. 3). Допустимая погрешность δ приближенного вычисления интегралов, входящих в полученные выражения равна $\delta = 10^{-6}$.

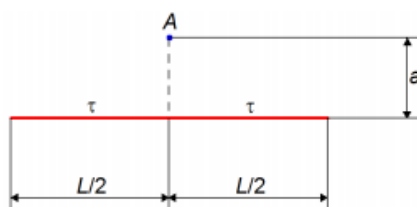


Рис. 3.

3.4. Вариант 4

Рассчитайте потенциал и напряженность электрического поля в точке А, от двух равномерно заряженных отрезков, расположенных под прямым углом друг к другу (см. рис. 4). Длина каждого из отрезков $L = 1$ м, $\tau = 1,2 \cdot 10^{-6}$ Кл/м. Допустимая погрешность δ приближенного вычисления интегралов, входящих в полученные выражения, составляет $\delta = 2 \cdot 10^{-6}$.

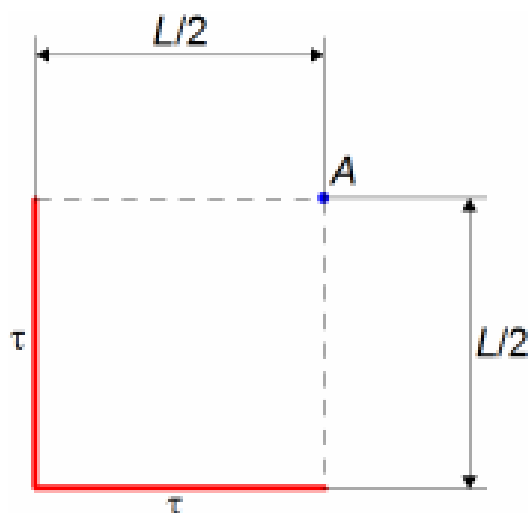


Рис. 4.

3.5. Вариант 5

Рассчитайте потенциал и напряженность электрического поля в точке А от равномерно заряженного кольца на высоте a над его плоскостью (см. рис. 5). Поверхностная плотность заряда кольца составляет $\tau = 1,3 \cdot 10^{-8}$ Кл/м, $R_1 = 1$ м, $R_2 = 2$ м, $a = 0,1$ м. Допустимая погрешность δ приближенного вычисления интегралов, входящих в полученные выражения, составляет $\delta = 1,5 \cdot 10^{-6}$.

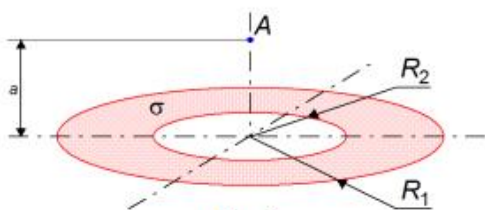


Рис. 5.

3.6. Вариант 6

Рассчитайте потенциал и напряженность электрического поля в точке А, удаленной от заряженного отрезка длиной $L = 2 \text{ м}$ с на расстояние $a = 0,1 \text{ м}$ (см. рис. 6). Линейная плотность заряда по отрезку распределена по отрезку так, что в его середине она достигает максимального значения $\tau = 2 \cdot 10^{-6} \text{ Кл/см}$, а к концам по линейному закону снижается до нулевого значения. Допустимая погрешность δ приближенного вычисления интегралов, входящих в полученные выражения, составляет $\delta = 3 \cdot 10^{-6}$.

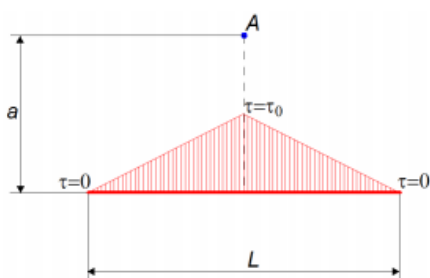


Рис. 6.

Контрольные вопросы/задания:

Знать: численные методы решения задач математического программирования, вычисления определённых интегралов функций, решения линейных и нелинейных уравнений и их систем, применяемые при выполнении вычислительных экспериментов	1. В чём состоит идея приближённого вычисления определённого интеграла функции одной переменной? 2. Что такое квадратурные формулы для вычисления определённого интеграла функции одной переменной? 3. Выведите формулу трапеций для приближённого вычисления определённого интеграла функции одной переменной. Какие допущения приняты при её выводе? 4. Что такое формула Симпсона для приближённого вычисления определённого интеграла функции одной переменной? Какие допущения приняты при её выводе? 5. Сопоставьте преимущества и недостатки формул трапеций и Симпсона. 6. Как выполняется оценка погрешности приближённого вычисления определённого интеграла? Чем определяется шаг численного интегрирования? 7. Сформулируйте подход к расчёту определённых интегралов функций с особенностями.
Уметь: ставить задачи исследования, выбирать в соответствии с ними и использовать численные методы	1. Найдите методом трапеций интеграл функции $F(x) = x \cdot \exp(-x)$ на отрезке $0 \leq x \leq 1$ при $\epsilon = 0,01$. 2. Найдите методом Симпсона интеграл функции $F(x) = \exp(x)/x$ на отрезке $1 \leq x \leq 2$ при $\epsilon = 0,01$.

решения задач математического программирования, вычисления определённых интегралов функций, решения линейных и нелинейных уравнений и их систем, применяемые при выполнении вычислительных экспериментов	
---	--

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

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

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

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

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2

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

КМ-5. Защита лабораторной работы №3: «Расчёт переходного процесса в электрической цепи с сосредоточенными параметрами»

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Лабораторная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 10

Процедура проведения контрольного мероприятия: Проводится в письменной форме в виде изложения развернутого ответа на вопросы задания. Время на подготовку ответа – 60 минут.

Краткое содержание задания:

Тема: «Расчёт переходного процесса в электрической цепи с сосредоточенными параметрами».

1. ЗАДАНИЕ НА ПРЕДВАРИТЕЛЬНУЮ ПОДГОТОВКУ

1. Для заданной схемы электрической цепи с сосредоточенными параметрами (рис. 1–6) составьте описывающую ее математическую модель, включающую систему дифференциальных уравнений и дополняющих их начальных условий. Рассчитайте постоянные времени контуров цепи τ_1 и τ_2 .

2. Опираясь на результаты, полученные в пункте 1, составьте алгоритмы приближенного расчета токов в контурах и падений напряжения на накопителях энергии в поставленной задаче методом Эйлера (как явным, так и неявным).

Указание. Вариант задания выбирается в соответствии с номером бригады.

2. ЗАДАНИЕ НА ВЫПОЛНЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Реализуйте разработанный в пункте 1 предварительной подготовки алгоритм решения поставленной задачи на компьютере.
2. Выполните необходимые расчеты в соответствии с заданными вариантами заданий, варьируя значение N . Предельная погрешность составляет $\varepsilon=10^{-6}$.
3. Сопоставьте результаты точного аналитического и приближенного численного расчета, сделайте выводы о точности и устойчивости явного и неявного метода Эйлера.
4. Подготовьте отчет о проделанной работе. Отчет должен содержать: задание, детальное описание вычислительного алгоритма приближенного численного решения задачи, текст программы, реализующей его в среде MATLAB, результаты расчета и сопоставления результатов точного и приближенного расчета, а также выводы. **Указание.**
 1. Считайте, что замыкание (размыкание) ключа происходит в момент времени $t=0$.
 2. Интервал времени, в рамках которого необходимо получить численное решение поставленной задачи составляет $0 \leq t \leq 5 + \tau$, где $\tau = \max(\tau_1, \tau_2)$, τ_1 и τ_2 – постоянные времени контуров цепи, рассчитанные в пункте 1 задания.
 3. Результаты аналитического решения задачи можно заменить результатами её решения встроенными средствами MATLAB численным методом высокого порядка точности.
 4. Каждый студент выполняет и представляет к защите индивидуальный отчет, выполненный в соответствии с заданием. Отчет представляется в печатной форме; выполнять отчеты лишь в электронной форме недопустимо.

3. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

1. Построить осциллограмму тока через индуктивность и напряжения на конденсаторе при подключении к источнику постоянного напряжения цепи, представленной на рис. 1.

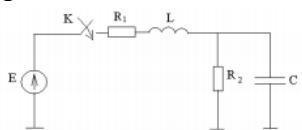


Рис. 1.

Исходные данные:

$$\begin{aligned} E &= 100 \text{ В}, \\ R_1 &= 1 \text{ Ом}, \\ R_2 &= 49 \text{ Ом}, \\ C &= 1 \text{ мкФ}, \\ L &= 10 \text{ мГн}. \end{aligned}$$

2. Построить осциллограмму тока через индуктивность и напряжения на конденсаторе при подключении к источнику постоянного напряжения цепи, представленной на рис. 2.

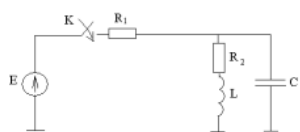


Рис. 2.

Исходные данные:

$$\begin{aligned} E &= 15 \text{ В}, \\ R_1 &= 14 \text{ Ом}, \\ R_2 &= 1 \text{ Ом}, \\ C &= 1 \text{ мкФ}, \\ L &= 10 \text{ мГн}. \end{aligned}$$

3. Построить осциллограммы напряжений на конденсаторах при подключении к источнику постоянного напряжения цепи, представленной на рис. 3.

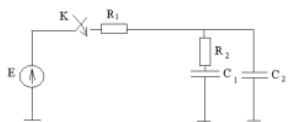


Рис. 3.

Исходные данные:

$$\begin{aligned} E &= 3 \text{ В}, \\ R_1 &= 1 \text{ Ом}, \\ R_2 &= 100 \text{ Ом}, \\ C_1 &= 25 \text{ нФ}, \\ C_2 &= 1000 \text{ пФ}. \end{aligned}$$

4. Построить осциллограммы токов через индуктивности при подключении к источнику постоянного напряжения цепи, представленной на рис. 4.

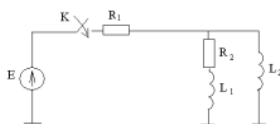


Рис. 4.

Исходные данные:

$$\begin{aligned} E &= 4 \text{ В}, \\ R_1 &= 1 \text{ Ом}, \\ R_2 &= 3 \text{ Ом}, \\ L_1 &= 100 \text{ мГн}, \\ L_2 &= 40 \text{ мГн}. \end{aligned}$$

5. Построить осциллограмму тока через индуктивность и напряжения на конденсаторе при отключении от источника постоянного напряжения цепи, представленной на рис. 5.

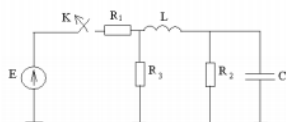


Рис. 5.

Исходные данные:

$E = 100 \text{ В},$
 $R_1 = 1 \text{ Ом},$
 $R_2 = 4 \text{ Ом},$
 $R_3 = 1 \text{ кОм},$
 $C = 1000 \text{ пкФ},$
 $L = 10 \text{ мГн}.$

6. Построить осциллограмму тока через индуктивность и напряжения на конденсаторе при отключении от источника постоянного напряжения цепи, представленной на рис. 6.

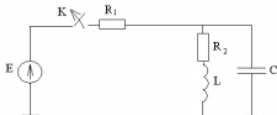


Рис. 6.

Исходные данные:

$E = 15 \text{ В},$
 $R_1 = 14 \text{ Ом},$
 $R_2 = 1 \text{ Ом},$
 $C = 1 \text{ мкФ},$
 $L = 10 \text{ мГн}.$

Контрольные вопросы/задания:

Знать: характерные математические модели электрических цепей УВН, методы дискретизации этих моделей и вычислительные алгоритмы расчёта токов и напряжений в них, как инструментов, позволяющих прогнозировать свойства и поведение УВН	1. В чём заключается задача Коши для обыкновенного дифференциального уравнения (ОДУ) первого порядка? В чём заключается метод сеток для её численного решения? Перечислите его основные объекты. 2. Какие схемы реализации метода Эйлера Вы знаете? В чём их отличие? В чём заключаются их достоинства и недостатки? 3. Дайте определения понятиям точности метода численного решения ОДУ, его аппроксимации и сходимости. Чем отличаются понятия точности и аппроксимации? 4. Выведите основные соотношения метода Рунге-Кутты второго порядка точности. В чём заключается принципиальная разница между методами Эйлера и Рунге-Кутты? 5. В чём состоит общая формулировка методов Рунге-Кутты? 6. Что такое условно и абсолютно устойчивые методы численного решения ОДУ? 7. Как и почему влияет на устойчивость и точность численного решения ОДУ величина шага разностной сетки? 8. Запишите основные законы и соотношения, определяющие переходной процесс в электрической цепи с сосредоточенными параметрами.
Уметь: формулировать математические модели электрических цепей с сосредоточенными и распределенными параметрами, применять методы их дискретизации для численного определения токов и напряжений в цепях с целью прогнозирования их свойств и	1. Решите методом Адамса 2-го порядка обыкновенное дифференциальное уравнение $du/dx = u' \sin(x)$ на отрезке $1 < x < 2$ при $u(1) = 1,5$, создав на указанном отрезке равномерную конечно-разностную сетку из $N=11$ узлов. 2. Решите методом Рунге-Кутты 2-го порядка обыкновенное дифференциальное уравнение $du/dx = u' \sin(x)$ на отрезке $1 < x < 2$ при $u(1) = 1,5$, создав на указанном отрезке равномерную конечно-разностную сетку из $N=11$ узлов.

поведения	3. Составьте математическую модель в виде задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения 1-го порядка, которая описывает процесс разряда катушки с индуктивностью L через активное сопротивление R. Замыкание разделяющего их ключа происходит в момент $t=0$. Ключ можно считать идеальным, а цепь – линейной, $iL _{t=0}=I_0$. Составьте дискретную модель для приближённого расчёта зависимости силы тока i в катушке от времени t на конечно-разностной сетке с постоянным шагом t, используя метод Рунге-Кутты 2-го порядка. Получите выражение для вычисления значений i в узлах сетки. 4. Составьте математическую модель в виде задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения 1-го порядка, которая описывает процесс зарядки конденсатора с ёмкостью C от источника постоянного напряжения с ЭДС E и внутренним сопротивлением R. Замыкание разделяющего их ключа происходит в момент $t=0$. Ключ можно считать идеальным, а цепь – линейной, $uC _{t=0}=0$. Составьте дискретную модель для приближённого расчёта зависимости напряжения u на конденсаторе от времени t на конечно-разностной сетке с постоянным шагом t, используя метод Рунге-Кутты 2-го порядка. Получите выражение для вычисления значений u в узлах сетки.
-----------	---

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

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

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

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

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2

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

КМ-6. Защита лабораторной работы №4: «Расчёт переходного процесса в электрической цепи с распределёнными параметрами»

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Лабораторная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 10

Процедура проведения контрольного мероприятия: Проводится в письменной форме в виде изложения развернутого ответа на вопросы задания. Время на подготовку ответа – 60 минут.

Краткое содержание задания:

Тема: «Расчёт переходного процесса в электрической цепи с сосредоточенными параметрами».

1. ЗАДАНИЕ НА ПРЕДВАРИТЕЛЬНУЮ ПОДГОТОВКУ

1. Для заданной схемы электрической цепи с распределёнными параметрами составьте описывающую её математическую модель, включающую волновое уравнение и дополняющие его начальные и граничные условия.
2. Опираясь на результаты, полученные в пункте 1, составьте алгоритмы приближенного расчёта напряжения в линии как функции координаты и времени. Для составления конечно-разностной (КР) аппроксимации волнового уравнения, начальных и граничных условий используйте КР схему «крест».

Указание. Вариант задания выбирается в соответствии с номером бригады.

2. ЗАДАНИЕ НА ВЫПОЛНЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Цель лабораторной работы №4 заключается в овладении навыками составления математических моделей электрофизических процессов в ТЭВН (в данном случае — распространения волны напряжения в идеальной длинной линии), их дискретизации с использованием изученных численных методов, опытом разработки вычислительных алгоритмов, реализующих полученные дискретные модели, и создания в среде MATLAB программ для ЭВМ, реализующих эти алгоритмы, обеспечивающих интерпретацию и представление результатов расчёта, способностью самостоятельно выполнять с помощью этих программ вычислительные эксперименты по исследованию электрофизических процессов. Переходный процесс (распространение волны напряжения u) в идеальной длинной линии электропередачи длиной L описывается волновым уравнением:

$$\partial^2 u / \partial t^2 = v^2 \partial^2 u / \partial x^2, \quad 0 \leq x \leq L, \quad 0 \leq t \leq T, \quad (1)$$

где t – время, x – продольная координата, начало отсчёта ($x=0$) которой совпадает с началом линии, v – скорость распространения волны.

Уравнение (1) дополняется начальными (НУ) и граничными (ГУ) условиями. Начальные условия задаются для момента $t=0$ и отражают допущения, что в этот момент линия заряжена до напряжения U_0 , а скорость его изменения равна нулю:

$$u(x,0)=U_0, \quad \partial u / \partial t|_{t=0}=0. \quad (2)$$

Форма граничных условий зависит от того, что происходит на левом ($x=0$) и правом ($x=L$) концах линии. Если, например, в начальный момент $t=0$ к её левому концу подключается ЭДС E , то соответствующее ГУ имеет вид:

$$u(0,t)=E, \quad (3)$$

а если в этот момент левый конец заземляется, то оно приобретает вид:

$$u(0,t)=0. \quad (4)$$

Если линия короткозамкнутая, то есть её правый конец заземлён, то на нём выполняется ГУ:

$$u(L,t)=0, \quad (5)$$

а если она работает на холостом ходу (правый конец разомкнут), то протекающий через него ток i равен нулю:

$$i(L,t)=0. \quad (6)$$

Предметом исследования в работе №4 является распространение волны напряжения в длинной воздушной линии с распределёнными параметрами. Выполняя работу, следует считать, что всеми утечками можно пренебречь, и длинная линия является идеальной. Тогда процессы в ней описываются волновым уравнением (1).

В зависимости от варианта индивидуального задания моделируется процесс зарядки линии от подключаемого к ней источника ЭДС или нейтрализации первоначально заряженной линии. Если изначально она не заряжена, то в начальном условии (2) $U_0=0$, в противном случае значение U_0 отлично от нуля и указано в задании. Если в нём предложено смоделировать зарядку линии от ЭДС E , то на левом конце выполняется граничное условие (3), а если задача состоит в изучении её нейтрализации, то ГУ (4). В зависимости от предложенного варианта на правом конце линии реализуются ГУ (5) или (6).

Задание на математическое моделирование:

- а) для указанного ниже варианта задания составьте математическую модель, включающую волновое уравнение (1), начальные условия (2) и граничные условия (3) или (4), (5) или (6);
- б) проведите дискретизацию записанной модели методом конечных разностей с постоянными шагами разностной сетки по времени t и координате x ;
- в) составьте вычислительный алгоритм решения полученных разностных уравнений;
- г) реализуйте его в виде программы для ЭВМ в среде MATLAB. Проведите её тестирование и обоснуйте выбор значения шагов разностной сетки;
- д) рассчитайте при помощи разработанной программы разностный аналог функции $u(x,t)$.

Отчёт по лабораторной работе №7 должен содержать следующие материалы:

- а) титульный лист с указанием названия лабораторной работы, фамилией и инициалами выполнившего её студента, номером индивидуального варианта задания, фамилией и инициалами преподавателя, принимающего её;
- б) непрерывную математическую модель (пункт а) задания) с необходимыми пояснениями;
- в) дискретную математическую модель (пункт б) задания) с необходимыми пояснениями;
- г) вычислительный алгоритм решения полученных при выполнении пункта б) разностных уравнений и распечатку реализующей программы для ЭВМ в среде MATLAB;
- д) обоснование выбора значений шагов разностной сетки;
- е) представленные в графическом виде результаты расчёта разностного аналога функции $u(x,t)$, полученные при помощи этой программы.

3. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

1. Вариант 1. В момент $t=0$ к левому концу короткозамкнутой линии с распределёнными параметрами длиной $L=100$ км подключается ЭДС $E=100$ кВ (см. рис. 1). Решите для неё волновое уравнение (1) относительно функции $u(x,t)$ при $0 \leq x \leq L$, $0 \leq t \leq T$, где $T=1,5L/v$.

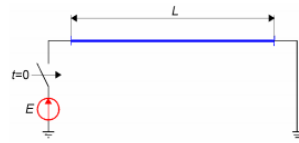


Рис. 1. К расчёту переходного процесса в длинной линии, вариант 1

2. Вариант 2. В момент $t=0$ к левому концу незаряженной линии с распределёнными параметрами длиной $L=150$ км подключается ЭДС $E=100$ кВ (линия на холостом ходу, см. рис. 2). Решите для неё волновое уравнение (1) относительно функции $u(x,t)$ при $0 \leq x \leq L$, $0 \leq t \leq T$, где $T=1,5L/v$.

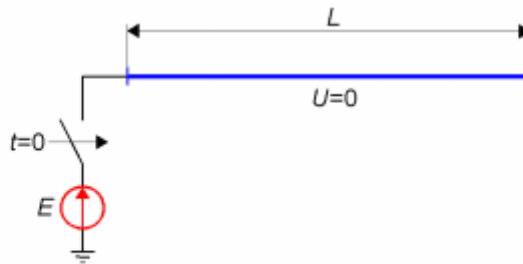


Рис. 2. К расчёту переходного процесса в длинной линии, вариант 2

3. Вариант 3. В момент $t=0$ к левому концу линии с распределёнными параметрами длиной $L=200$ км подключается ЭДС $E=200$ кВ (линия на холостом ходу, изначально заряжена до напряжения $U_0=-E$ см. рис. 3). Решите для неё волновое уравнение (1) относительно функции $u(x,t)$ при $0 \leq x \leq L$, $0 \leq t \leq T$, где $T=2L/v$.

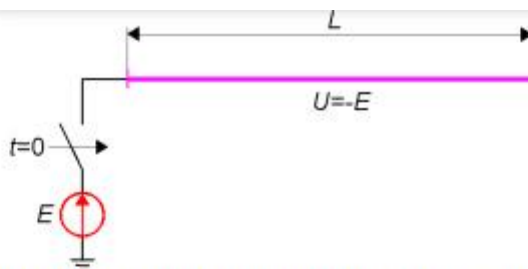


Рис. 3. К расчёту переходного процесса в длинной линии, вариант 3

4. Вариант 4. В момент $t=0$ закорачивается левый конец линии с распределёнными параметрами длиной $L=250$ км (линия на холостом ходу, изначально заряжена до напряжения $U_0=200$ кВ, см. рис. 4). Решите для неё волновое уравнение (1) относительно функции $u(x,t)$ при $0 \leq x \leq L$, $0 \leq t \leq T$, где $T=2L/v$.

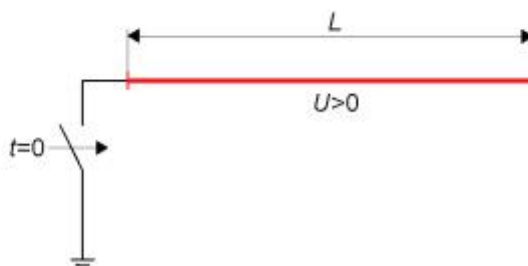


Рис. 4. К расчёту переходного процесса в длинной линии, вариант 4

Контрольные вопросы/задания:

Знать: характерные математические модели электрических цепей УВН, методы дискретизации этих моделей и вычислительные алгоритмы расчёта токов и напряжений в них, как инструментов, позволяющих прогнозировать свойства и поведение УВН	1. Сформулируйте математическую модель переходного процесса в однородной линейной незаряженной длинной линии без потерь при её подключении к источнику ЭДС для случаев короткозамкнутой линии и линии на холостом ходу. 2. Как изменится эта модель, если источник подключается к линии через активное или реактивное сопротивление? 3. Как изменится эта модель, если к линия имеет нагрузки активную, ёмкостную или индуктивную нагрузку? 4. Какие конечно-разностные аппроксимации волнового уравнения Вы знаете? Какую из них целесообразно применить в данном случае? 5. В чём в данном случае состоит особенность конечно-разностной аппроксимации начальных условий для волнового уравнения? 6. Какие основные объекты метода конечных
---	--

	разностей были использованы при записи аппроксимации волнового уравнения? 7. Чем определяется в данном случае выбор пространственного и временного шагов конечно-разностной сетки? 8. Сформулируйте вычислительный алгоритм численного решения волнового уравнения для случая выбранной схемы его аппроксимации.
Уметь: формулировать математические модели электрических цепей с сосредоточенными и распределенными параметрами, применять методы их дискретизации для численного определения токов и напряжений в цепях с целью прогнозирования их свойств и поведения	1. Составьте математическую модель переходного процесса в длинной линейной однородной воздушной линии электропередачи с распределёнными параметрами, возникающего при подключении к её левому концу источника постоянного напряжения с ЭДС E. Линия имеет длину l, её правый конец разомкнут, продольными и поперечными потерями в ней можно пренебречь. Погонная ёмкость линии составляет C_0, а индуктивность - L_0. Составьте конечно-разностную (КР) модель процесса в линии, используя для этого явную КР схему «крест». 2. Составьте математическую модель в виде задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения 1-го порядка, которая описывает процесс разрядки конденсатора с ёмкостью C через активное сопротивление R. Замыкание разделяющего их ключа происходит в момент $t=0$. Ключ можно считать идеальным, а цепь – линейной, $uC _{t=0}=U_0$. Составьте дискретную модель для приближённого расчёта зависимости напряжения u на конденсаторе от времени t на конечно-разностной сетке с постоянным шагом t, используя неявный метод Эйлера 1-го порядка. Получите выражение для вычисления значений u в узлах сетки. 3. Составьте математическую модель переходного процесса в длинной линейной однородной воздушной линии электропередачи с распределёнными параметрами, возникающего при подключении к её левому концу источника постоянного напряжения с ЭДС E. Линия имеет длину l, её правый конец разомкнут, продольными потерями в ней можно пренебречь. Погонная ёмкость линии составляет C_0, а индуктивность - L_0, поперечная проводимость - G_0. Составьте конечно-разностную (КР) модель процесса в линии, используя для этого явную КР схему «крест».

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

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

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

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

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2

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

КМ-7. Защита расчётного задания: «Расчёт и анализ электрических полей в изоляционных конструкциях установок высокого напряжения с газовой изоляцией»

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Расчетно-графическая работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 30

Процедура проведения контрольного мероприятия: Проводится в письменной форме в виде изложения развернутого ответа на вопросы задания. Время на подготовку ответа – 60 минут.

Краткое содержание задания:

Тема: «Расчёт и анализ электрических полей в изоляционных конструкциях установок высокого напряжения с газовой изоляцией».

Выполнить:

На основе расчёта напряжённости электрического поля в соответствии с выданным вариантом индивидуального задания и анализа полученных результатов, следует найти ответ на поставленный в задании вопрос. Номер варианта задания определяется номером студента в списке группы.

Исходные данные для задания (индивидуальные варианты заданий):

Вариант 1.

Тросовый электростатический экран для ограничения воздействия внешнего электрического поля состоит из 5 параллельных друг другу и поверхности земли круглых заземлённых проводников радиусом $r_2 = 0,75$ см, подвешенных на высоте $h = 4$ м над землёй на равном расстоянии a друг от друга. Каково оптимальное значение a , минимизирующее напряжённость поля в расчётной точке M на высоте $h_0 = 1,8$ м над землёй под средним тросом, в предположении, что в отсутствие экрана внешнее поле является однородным, его вектор напряжённости перпендикулярен поверхности земли и равен по модулю $E_0 = 30$ кВ/м?

Вариант 2.

Ошиновка открытого распределительного устройства (ОРУ) подстанции 500 кВ имеет следующую конфигурацию (рис. 1). Расщеплённые фазные провода, состоящие из $n = 3$ составляющих, находятся на высоте $h_1 = 10$ м, расстояние между ними составляет $a_1 = 10$ м. Радиус расщепления $r_p = 23$ см, радиус составляющих их проводников $r_1 = 1,5$ см. Для ограничения напряжённости электрического поля под центральным фазным проводом на высоте $h_2 = 3,5$ м помещён тросовый электростатический экран, состоящий из двух проводников. Они расположены симметрично относительно оси y на расстоянии $2 \times a_2$ друг от друга и имеют радиус $r_2 = 0,5$ см. Чему равно оптимальное

значение a_2 , соответствующее наименьшему значению напряжённости поля на высоте $h_0 = 1,8$ м над поверхностью земли на оси y ? Чему было бы равно значение напряжённости в этой точке без экрана?

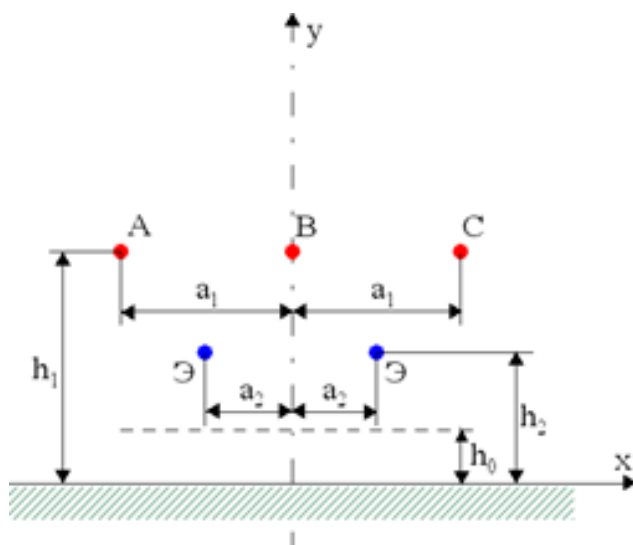


Рис. 1. Ограничение электрического поля ошиновки ОРУ 500 кВ под центральным проводом

Вариант 3.

Тросовый электростатический экран для ограничения воздействия внешнего электрического поля состоит из 5 параллельных друг другу и поверхности земли круглых заземлённых проводников радиусом $r_2 = 0,5$ см, подвешенных на высоте h над землёй на равном расстоянии $a = 1$ м друг от друга. Каково оптимальное значение h , минимизирующее напряжённость поля в расчётной точке M на высоте $h_0 = 1,8$ м над землёй под средним тросом, в предположении, что в отсутствие экрана внешнее поле является однородным, его вектор напряжённости перпендикулярен поверхности земли и равен по модулю $E_0 = 25$ кВ/м?

Вариант 4.

Электрическое поле ошиновки ОРУ с номинальным напряжением $U_{ном}=500$ кВ и горизонтальным расположением фазных проводов ограничивается тросовым электростатическим экраном Э, состоящим из двух пар заземлённых проводников (рис. 2). Фазные провода состоят из $n = 3$ составляющих радиусом $r_1 = 2$ см и имеют радиус расщепления $r_p = 23$ см. Они расположены на высоте $h_1 = 12$ м на расстоянии $a_1 = 10$ м друг от друга. Каждая пара проводников экрана Э состоит из тросов радиусом $r_2 = 1$ см, разделённых расстоянием $d = 0,5$ м. Тросы находятся на одинаковой высоте $h_2 = 4$ м. Чему равно оптимальное расстояние a_2 между осью ошиновки и экранами Э, минимизирующее напряжённость поля под крайними проводами на высоте $h_0 = 1,8$ м над землёй?

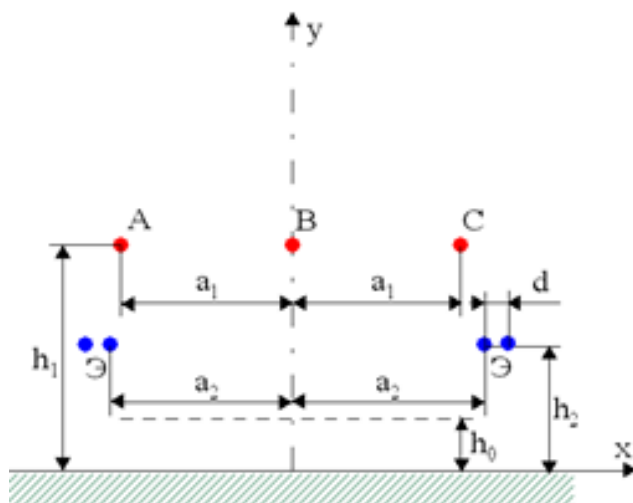


Рис. 2. Ограничение электрического поля ошиновки ОРУ 500 кВ под её крайними проводами

Вариант 5.

Какова допустимая высота h_1 подвеса фазных проводов воздушной линии электропередачи (ВЛ) с номинальным напряжением $U_{ном} = 500$ кВ и горизонтальным расположением расщеплённых фазных проводов (рис. 3)? Следует исходить из того, что действующее значение напряжённости электрического поля под проводами на высоте $h_0 = 1,8$ м над землёй не должно превышать 5 кВ/см. Фазные провода расположены на расстоянии $a_1 = 10$ м друг от друга, состоят из $n = 3$ составляющих радиусом $r_0 = 1,5$ см и имеют радиус расщепления $r_p = 23$ см.

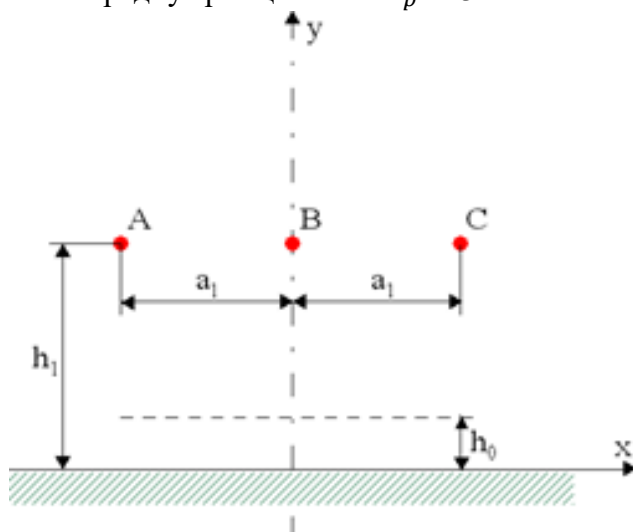


Рис. 3. К расчёту электрического поля под фазными проводами ВЛ с их горизонтальным размещением

Вариант 6.

Какова допустимая высота h_1 подвеса нижнего фазного провода ВЛ с номинальным напряжением $U_{ном} = 500$ кВ и вертикальным расположением расщеплённых фазных проводов (рис. 4)? Нужно исходить из того, что действующее значение напряжённости электрического поля под проводами на высоте $h_0 = 1,8$ м над землёй не должно превышать 5 кВ/см. Фазные провода расположены на расстоянии $a_1 = 10$ м друг от друга (то есть $h_2 = h_1 + a_1$, $h_3 = h_1 + 2 a_1$), состоят из $n = 3$ составляющих радиусом $r_0 = 1,5$ см и имеют радиус расщепления $r_p = 23$ см.

Вариант 7.

Чему равна допустимая высота h_1 подвеса фазных проводов ВЛ с номинальным напряжением $U_{ном} = 750$ кВ и горизонтальным расположением расщеплённых фазных проводов (рис. 3)? Исходите из того, что действующее значение напряжённости электрического поля под проводами на высоте $h_0 = 1,8$ м над землёй не должно превышать 5 кВ/см. Фазные провода расположены на расстоянии $a_1 = 12$ м друг от друга, состоят из $n = 4$ составляющих радиусом $r_0 = 2$ см и имеют радиус расщепления $r_p = 28,3$ см.

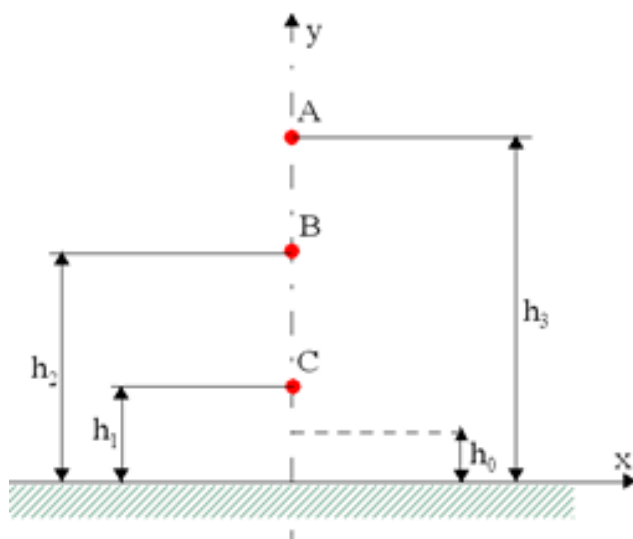


Рис. 4. К расчёту электрического поля под проводами ВЛ с их вертикальным размещением

Вариант 8.

Какова допустимая высота h_1 расположения нижнего фазного провода ВЛ с номинальным напряжением $U_{ном} = 750$ кВ и вертикальным расположением расщеплённых фазных проводов (рис. 4)? Следует исходить из того, что действующее значение напряжённости электрического поля под проводами на высоте $h_0 = 1,8$ м над землёй не должно превышать 5 кВ/см. Фазные провода расположены на расстоянии $a_1 = 12$ м друг от друга (то есть $h_2 = h_1 + a_1$, $h_3 = h_1 + 2a_1$), состоят из $n = 4$ составляющих радиусом $r_0 = 2$ см и имеют радиус расщепления $r_p = 28,3$ см.

Вариант 9.

Каково оптимальное значение радиуса расщепления фазных проводов ВЛ с номинальным напряжением $U_{ном} = 500$ кВ и горизонтальным расположением фаз (рис. 3)? Исходите из критерия минимизации наибольшего значения напряжённости поля на поверхности проводников центрального фазного провода. Фазные провода расположены на высоте $h_1 = 8$ м над землёй на расстоянии $a_1 = 10$ м друг от друга, состоят из $n = 3$ проводников радиусом $r_0 = 1,5$ см при радиусе расщепления $r_p = 23$ см.

Вариант 10.

Чему равно оптимальное значение радиуса расщепления фазных проводов ВЛ с номинальным напряжением $U_{ном} = 500$ кВ и вертикальным расположением фаз (рис. 4)? Нужно исходить из критерия минимизации наибольшего значения напряжённости поля на поверхности проводников нижнего фазного провода. Фазные провода расположены на высотах h_1 , $h_2 = h_1 + a_1$ и $h_3 = h_1 + 2a_1$ над землёй на расстоянии $a_1 = 10$ м друг от друга, состоят из $n = 3$ проводников радиусом $r_0 = 1,5$ см и имеют радиус расщепления $r_p = 23$ см. Высота нижнего провода составляет $h_1 = 8$ м.

Вариант 11.

Какова допустимая высота h_1 расположения нижних фазных проводов одноцепной ВЛ с номинальным напряжением $U_{ном}=220$ кВ (рис. 5), если исходить из того, что действующее значение напряжённости электрического поля под проводами на высоте $h_0 = 1,8$ м над землёй не должно превышать 5 кВ/см? Нижние фазные провода находятся на высоте $h_1 = 7$ м, а верхний — на высоте $h_2 = 13$ м; $a_1 = 3$ м, $a_2 = 1,5$ м. Радиус проводов $r_0 = 1,0$ см.

Вариант 12.

Для защиты персонала от биологического воздействия электрического поля используется электростатический тросовый экран, проводники которого расположены на двух уровнях (рис. 6) и заземлены. Проводники верхнего уровня расположены на высоте $h_1 = 4$ м, расстояние между ними $2 \times a_1 = 5$ м, радиус $r_1 = 0,5$ см. Проводники нижнего уровня расположены на высоте $h_2 = 3$ м, расстояние между ними $2 \times a_2$, радиус $r_2 = r$. Каким должно быть значение a_2 , чтобы минимизировать напряженность поля на оси симметрии на высоте $h_0 = 1,8$ м? В отсутствие экрана внешнее поле является однородным, его вектор напряжённости перпендикулярен поверхности земли и равен по модулю $E_0 = 25$ кВ/м.

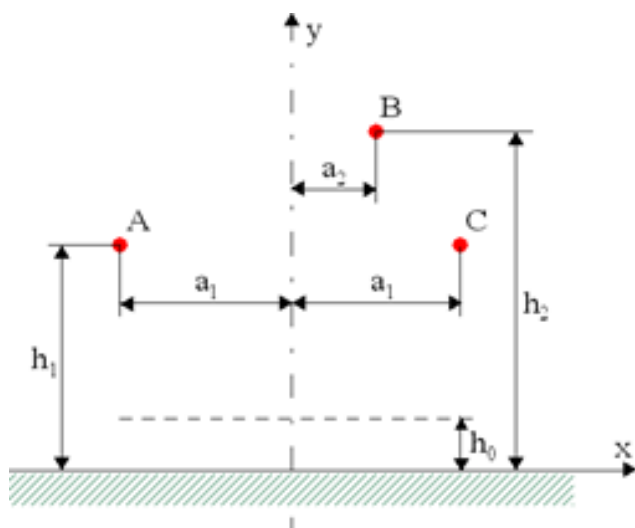


Рис. 5. К расчёту электрического поля под фазными проводами ВЛ 220 кВ

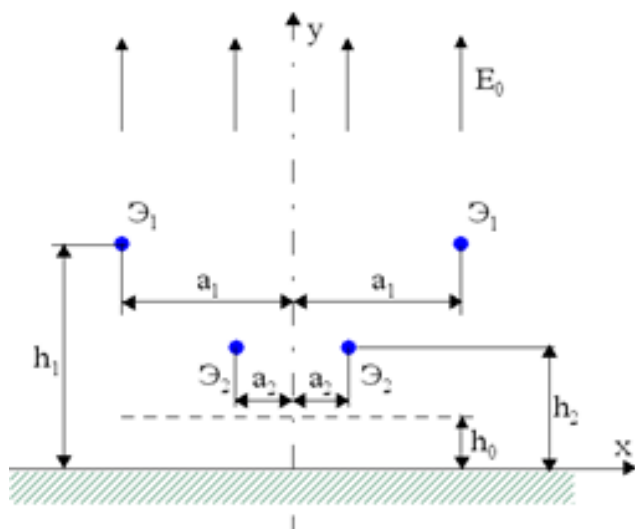


Рис. 6. К расчёту электрического поля под тросовым электростатическим экраном

III. Технология выполнения задания:

Для выполнения задания необходимо соблюдать следующую последовательность действий:

- а) В соответствии с полученным индивидуальным вариантом задания составить расчётную модель задачи и реализовать её в виде программы MATLAB.
 - б) С помощью указанной программы рассчитать зависимость значения целевой функции (искомого значения напряжённости электрического поля) от определённой в задании переменной. Представить эту зависимость в табличном и графическом виде.
 - в) Проанализировать полученные данные и получить ответ на сформулированный в задании зачёт.
 - г) Подготовить отчёт, включающий в себя следующее:
 титульный лист;
 индивидуальный вариант задания;
 расчётную модель с необходимыми пояснениями;
 оценку достоверности результатов расчёта с необходимыми пояснениями;
 результаты расчёта значений целевой функции (искомого значения напряжённости электрического поля) в зависимости от величин указанной в задании переменной в табличном виде и в виде графика;
 ответ на поставленный в задании вопрос;
 список использованных источников.
- Объём отчёта должен составлять не менее 7 страниц, включая титульный лист и список использованных источников.

Контрольные вопросы/задания:

Знать: математические модели и применяемые для их дискретизации интегральные численные методы, позволяющие вычислять параметры электрических полей электроэнергетических и электрофизических УВН	1.Сформулируйте математическую модель полеобразующей системы, принятую Вами для выполнения индивидуального варианта задания. 2.Какие допущения были приняты Вами при построении этой модели? Обоснуйте их применимость при решении Вашего варианта задания. 3.Какой численный метод расчёта электрического поля был применён Вами для решения выполнения индивидуального варианта задания? Обоснуйте оптимальность сделанного Вами выбора. 4.Сформулируйте основные положения выбранного Вами метода. 5.Каков механизм воздействия электрических и магнитных полей промышленной частоты на живые организмы? 6.Перечислите основные нормативные документы, ограничивающие воздействие электрических и магнитных полей промышленной частоты на персонал и население действуют в настоящее время в России? 7.Что в данном случае означают термины «персонал» и «население»? 8.Какие параметры электрического и магнитного поля нормируются этими документами? 9.Чем отличается подход к ограничению воздействия полей промышленной частоты на персонал и население? 10.Назовите предельные уровни напряжённости
---	---

	электрического и магнитного поля промышленной частоты для персонала, обслуживающего источники поля. О каких значениях напряжённости в данном случае идёт речь? Где и каким образом они должны определяться? 11. Назовите предельные уровни напряжённости электрического и магнитного поля промышленной частоты для населения. 12. Какие подходы и способы ограничения воздействия электрического и магнитного поля промышленной частоты на организм человека Вам известны? 13. Что представляют собой экраны для ограничения электрического поля промышленной частоты? 14. Какие виды экранов Вам известны? Поясните принцип их действия. Какие разновидности средств защиты человека от воздействия электрического поля промышленной частоты вам известны? В каких случаях они применяются?
Уметь: рассчитывать, анализировать и регулировать электрические поля электроэнергетических и электрофизических УВН с целью ограничения воздействия их полей на население и персонал	1. Рассчитайте напряжённость электрического поля под одиночным расщеплённым фазным проводом (РФП) в расчётной точке, находящейся на высоте 1,8 м над землёй. РФП состоит из 2 проводников, параллельных друг другу и поверхности земли. Они подвешены на высоте 8 м, имеют радиус 0,015 м, и разделены расстоянием 0,4 м. К проводу приложено напряжение 280 кВ. Земля идеально гладкая, проводящая и бесконечная. 2. Рассчитайте напряжённость электрического поля посередине между 2 заземлёнными тросами электростатического экрана, подвешенными на одинаковой высоте 4 м над землёй. Они параллельны друг другу и земле, разделены расстоянием 0,5 м и имеют радиус 0,01 м. Внешнее однородное электрическое поле имеет напряжённость 20 кВ/м, его вектор перпендикулярен земле. Расчётная точка находится на высоте 1,8 м над её поверхностью. Земля идеально гладкая, проводящая и бесконечная.
Уметь: формулировать математические модели, применять интегральные численные методы для их дискретизации и реализовывать их в виде программ для ЭВМ для расчёта параметров электрических полей электроэнергетических и электрофизических УВН с целью прогнозирования их свойств и поведения	1. Рассчитайте наибольшее значение напряжённости электрического поля на поверхности проводов биполярной ВЛ постоянного тока с напряжением 200 кВ, чьи провода подвешены на высоте 8 м над землёй. Её проводники имеют радиус 0,02 м и разделены расстоянием 8 м. Они параллельны друг другу и поверхности земли. Подстилающий грунт идеально ровный и проводящий. Его поверхность можно считать бесконечной, а провод – бесконечным и идеально гладким. 2. Составьте математические непрерывную и дискретную модели, описывающую распределение напряжённости электрического поля в коаксиальном

	кабеле с однородной изоляцией. 3. Составьте математические непрерывную и дискретную модели, описывающую распределение напряжённости электрического поля в коаксиальном кабеле с двухслойной изоляцией.
--	--

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

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

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

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

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2

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

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

2 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

Билет №1.

1. Итерационные методы решения систем линейных алгебраических уравнений. Итерационные методы Якоби и Зейделя. Условия сходимости итерационных методов.
2. Понятие о приближённом вычислении определённого интеграла. Формулы трапеций и Симпсона.

Задача.

3. Решите методом Адамса 2-го порядка обыкновенное дифференциальное уравнение $du/dx = u \times \sin(x)$ на отрезке $1 \leq x \leq 2$ при $u(1)=1,5$, создав на указанном отрезке равномерную конечно-разностную сетку из $N = 11$ узлов.

Процедура проведения

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

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

1. Компетенция/Индикатор: ИД-ЗПК-1 Демонстрирует знания и умения использовать методы численного моделирования в научных исследованиях в области техники и электрофизики высоких напряжений

Вопросы, задания

1.Билет №2.

1. Постановка задачи математического программирования. Задачи условной оптимизации и их решение с применением метода Лагранжа.
2. Постановка задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений. Явный и неявный методы Эйлера.

Задача.

3. Найдите методом Симпсона интеграл функции $F(x)=\exp(x)/x$ на отрезке $1 \leq x \leq 2$ при $\varepsilon = 0,01$.
2. Обусловленность систем линейных алгебраических уравнений и устойчивость их решения. Число обусловленности. Влияние погрешностей округления при решении методом Гаусса. Понятие о методах регуляризации.
3. Итерационные методы решения систем линейных алгебраических уравнений.
4. Итерационные методы Якоби и Зейделя. Условия сходимости итерационных методов.
5. Итерационные методы решения нелинейных уравнений. Метод простых итераций и условия его сходимости. Метод Ньютона и его сходимость.
6. Постановка задачи математического программирования. Задачи безусловной и условной оптимизации.
7. Задачи условной оптимизации и их решение с применением метода Лагранжа.
8. Особенности отыскания решений в задачах математического программирования с ограничениями в виде равенств и неравенств.

9. Принципы численного решения задач безусловной оптимизации. Метод Ньютона 2-го порядка точности.
 10. Принципы численного решения задач безусловной оптимизации. Методы наискорейшего спуска и сопряжённых градиентов.
 11. Понятие о приближённом вычислении определённого интеграла. Формулы трапеций и Симпсона.
 12. Оценка погрешности, автоматический выбор шага интегрирования в процессе приближённого вычисления определённого интеграла.
 13. Способы конечно-разностной аппроксимации производной, порядок точности разностной аппроксимации.
 14. Постановка задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений. Явный и неявный методы Эйлера.
 15. Методы Рунге-Кутты, их общая формулировка, семейство методов второго порядка точности.
 16. Многошаговые разностные методы, их формулировка. Погрешность аппроксимации, устойчивость и сходимость разностных методов.
 17. Метод Гаусса численного решения систем линейных алгебраических уравнений и условия его применимости. Обращение матрицы.
 18. Решение систем линейных алгебраических уравнений как базовая процедура алгоритмов решения задач вычислительной физики. Прямые методы решения.
 19. Погрешности округления вещественных чисел в компьютере, накопление таких погрешностей и его влияние на свойства вычислительных методов.
 20. Понятие и схема вычислительного эксперимента.
- Понятия численного метода и вычислительного алгоритма. Требования к вычислительным методам.

21. Билет №3.

1. Особенности отыскания решений в задачах математического программирования с ограничениями в виде равенств и неравенств.
2. Методы Рунге-Кутты, их общая формулировка, семейство методов второго порядка точности.

Задача.

3. Решите итерационным методом Зейделя систему линейных алгебраических уравнений

$$5x_1 + 4x_2 + 2x_3 = 20,$$

$$4x_1 + 10x_2 + 6x_3 = 15,$$

$$2x_1 + 6x_2 + 5x_3 = 10,$$

задав начальным приближением $x_1=4$, $x_2=-1$, $x_3=2$ и $\varepsilon=0,01$.

22. Билет №4.

1. Принципы численного решения задач безусловной математической оптимизации. Метод Ньютона 2-го порядка точности.
2. Явные и неявные многошаговые методы Адамса и их свойства. Методы Адамса второго порядка точности.

Задача.

3. Рассчитайте наименьшее значение напряжённости электрического поля на высоте $h_0 = 1.8$ м над землёй под проводниками тросового электростатического экрана, которые находятся на высоте $h = 4$ м на расстоянии $a = 1$ м друг от друга. Экран состоит из трёх заземлённых тросов радиусом $r = 0,0075$ м, параллельных друг другу и поверхности земли. Он экранирует внешнее электрическое поле, которое в отсутствие экрана является однородным и имеет напряжённость $E_0 = 50$ кВ/м. Подстилающий грунт идеально ровный и проводящий.

23. Математическое моделирование и вычислительный эксперимент, их роль в различных областях ТЭВН и ВВЭТ.
24. Дифференциальные уравнения в частных производных и формулируемые с их использованием типичные математические модели электрофизических процессов в ТЭВН и ВВЭТ.
25. Понятие жёсткой системы дифференциальных уравнений. Чисто неявные разностные методы.
26. Волновое уравнение, разностные схемы его аппроксимации, условия их устойчивости.
Разностное решение волнового уравнения для переходного процесса в длинной линии с различными видами нагрузок (активными и реактивными).
27. Уравнение движения и диффузии ключевого компонента в окружающей среде, разностные схемы его аппроксимации, условия их устойчивости.
28. Явные и неявные многошаговые методы Адамса и их свойства. Методы Адамса второго порядка точности.
29. Уравнение Пуассона, связь между скалярным потенциалом и напряжённостью электрического поля. Разностные схемы аппроксимации одномерного и двумерного уравнения Пуассона и уравнения связи между потенциалом и напряжённостью в однородных средах.
30. Итерационные методы решения пятиточечных разностных уравнений: явные и неявные схемы итераций. Неявные методы верхней релаксации и переменных направлений. Явный метод с чебышевским набором шагов.
31. Поясните основные принципы, лежащие в основе методов вторичных источников поля (интегральных методов) расчёта электрических полей.
32. Сформулируйте и поясните основные положения метода эквивалентных зарядов для расчёта электрических полей. В чём заключаются его достоинства и недостатки по сравнению с другими методами?
33. Сформулируйте и поясните основные положения метода интегральных уравнений для расчёта электрических полей. В чём заключаются его достоинства и недостатки по сравнению с другими методами?
34. Назовите предельные уровни напряжённости электрического поля промышленной частоты для персонала, обслуживающего источники поля, и для населения. О каких значениях напряжённости в данном случае идёт речь? Где и каким образом они должны определяться?
35. Какие подходы и способы ограничения воздействия электрического и магнитного поля промышленной частоты на организм человека Вам известны?
36. Какие разновидности средств защиты человека от воздействия электрического поля промышленной частоты вам известны? В каких случаях они применяются?
37. Решение трёхточечных разностных уравнений методом прогонки.
38. Численное интегрирование жёстких систем обыкновенных дифференциальных уравнений. Условно и абсолютно устойчивые разностные методы.

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Какой из перечисленных ниже методов Вы бы предложили использовать для итерационного решения системы линейных алгебраических уравнений?

Ответы:

- 1 - метод Гаусса;
- 2 - метод Якоби;
- 3 - метод LU-разложения (декомпозиции);
- 4 - метод Зейделя.

Верный ответ: 4

2. К какому классу задач относится задача $F(x) = x \cdot \exp(-x) \rightarrow \max$?

Ответы:

- 1 - условной математической оптимизации;
- 2 - приближённое вычисление определённого интеграла;
- 3 - безусловной математической оптимизации;
- 4 - численного решения дифференциального уравнения.

Верный ответ: 3

3.Какой численный метод решения задачи $F(x)=[\ln(x-1)]/(x-1) \rightarrow \max$ из ниже перечисленных вы бы предложили использовать?

Ответы:

- 1 - метод Ньютона 2-го порядка;
- 2 - метод Ньютона 1-го порядка;
- 3 - метод сопряжённых градиентов;
- 4 - метод покоординатного спуска.

Верный ответ: 1

4.Какой из названных ниже видов погрешностей не относится к числу погрешностей, возникающих при проведении вычислительного эксперимента;

Ответы:

- 1 - погрешности округления;
- 2 - погрешности измерения физических величин;
- 3 - методическая погрешность;
- 4 - погрешность дискретизации.

Верный ответ: 2

5.Какое семейство численных методов Вы бы предложили использовать для приближённого решения задачи Коши для одного обыкновенного дифференциального уравнения $du/dt=f(u,t)$, $0 < t < T$, $u(0)=U_0$?

Ответы:

- 1 - неявные методы Адамса;
- 2 - явные методы Адамса;
- 3 - методы Рунге-Кутты;
- 4 - методы Эйлера 1-го порядка.

Верный ответ: 1

6.Какой численный метод Вы предложили бы использовать для приближённого вычисления интеграла функции одной переменной?

Ответы:

- 1 - метод прямоугольников;
- 2 - метод трапеций;
- 3 - метод Симпсона;
- 4 - семейство методов Гаусса.

Верный ответ: 3

7.Какую схему конечно-разностной (КР) аппроксимации первой производной по времени целесообразно использовать для составления дискретной КР модели для уравнения дрейфа и диффузии ключевого компонента среды?

Ответы:

- 1 - неявную левую КР аппроксимацию;
- 2 - неявную правую КР аппроксимацию;
- 3 - явную правую КР аппроксимацию;
- 4 - явную левую КР аппроксимацию.

Верный ответ: 4

8.Какой из ниже перечисленных методов Вы предложили бы для решения системы пятиточечных разностных линейных уравнений?

Ответы:

- 1 - метод прогонки;

- 2 - метод Зейделя;
- 3 - метод Якоби;
- 4 - метод верхней релаксации.

Верный ответ: 4

9.Какой численный метод Вы считаете правильным использовать для расчёта электрических полей систем тонкопроволочных проводников?

Ответы:

- 1 - метод интегральных уравнений;
- 2 - метод конечных элементов;
- 3 - метод эквивалентных зарядов;
- 4 - метод конечных разностей.

Верный ответ: 1

10.Какой численный метод Вы считаете правильным использовать для решения уравнения Пуассона в расчётах электрических полей электрических зарядов?

Ответы:

- 1 - метод эквивалентных зарядов;
- 2 - метод конечных разностей;
- 3 - метод конечных элементов;
- 4 - метод интегральных уравнений.

Верный ответ: 2

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

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

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

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

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

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

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.