

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Агафонов Александр Викторович

Должность: директор филиала

Дата подписания: 19.09.2023 10:12:51

Уникальный программный ключ:

2559477a8dc1706dc9c1167bc411eb6d3c4ab06

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ**  
**ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
**ЧЕБОКСАРСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ) МОСКОВСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

## Кафедра транспортно-энергетических систем



## **СПЕЦРАЗДЕЛЫ ТОЭ**

(наименование дисциплины)

### **Методические указания по выполнению курсовой работы**

Направление  
подготовки

**13.03.02 «Электроэнергетика и  
электротехника»**

(код и наименование направления  
подготовки)

Направленность  
подготовки

**«Электроснабжение»**

(наименование профиля подготовки)

Квалификация  
выпускника

**Бакалавр**

Форма обучения

**очная и заочная**

Чебоксары, 2023

Методические указания разработаны  
в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки  
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Автор Лепаев Александр Николаевич, к.т.н., доцент кафедры транспортно-  
энергетических систем

---

*ФПО, ученая степень, ученое звание или должность, наименование кафедры*

Методические рекомендации одобрены на заседании кафедры  
«Транспортно-энергетические системы»

---

(протокол № 06 от 04.03.2023 г.).

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>4</b>
<b>1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ .....</b>	<b>5</b>
<b>2. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ .....</b>	<b>5</b>
<b>3. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕСВЕДЕНИЯ .....</b>	<b>12</b>
<b>4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ .....</b>	<b>13</b>
<b>КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ ПРИ ЗАЩИТЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ....</b>	<b>14</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>15</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Курсовая работа по дисциплине «Спецразделы ТОЭ» – предназначена для студентов очной и заочной формы обучения инженерно-технических специальностей и является завершающим этапом изучения курса.

Предлагаемая курсовая работа содержит задания на основы теории электромагнитного поля в макроскопическом представлении, базирующейся на уравнениях электродинамики, сформулированных Максвеллом.

Важность изучения электромагнитных полей следует из того, что без расчета поля невозможно проектирование самых разнообразных электромагнитных устройств, включая мощные электрические машины и аппараты с полями промышленной частоты, микроминиатюрные устройства радиоэлектроники с полями высоких и сверх высоких частот, а также установки высокого напряжения.

Несмотря на различие форм и назначений, все современные электротехнические устройства имеют общую часть – электромагнитную систему, предназначенную для преобразования электромагнитной энергии в другие виды. Свойства и рабочие характеристики электротехнических устройств напрямую зависят от распределения электромагнитного поля в их электромагнитной системе, именно поэтому важно при проектировании уметь рассчитывать и оптимизировать электромагнитное поле. Расчеты электромагнитных полей в реальных электромагнитных системах чрезвычайно сложны и, как правило, требуют специальной подготовки.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Предлагаемая курсовая работа является завершающим этапом изучения курса и преследует следующие цели:

- приобретение практических навыков теоретического анализа электрической цепи с усилительными элементами;
- закрепление, углубление и расширение знаний по основным разделам курса;
- применение компьютерных технологий для расчета и анализа электрических цепей.

Задание на курсовую работу каждый студент получает индивидуально и в ходе ее выполнения должен самостоятельно осмыслить поставленную задачу и найти пути ее решения, применяя знания, полученные на других видах занятий.

## 2. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

Задания для курсовой работы составляются преподавателем, который ведет данную дисциплину, и утверждаются кафедрой.

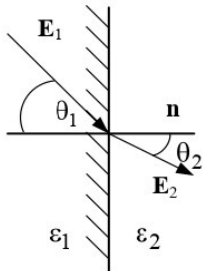
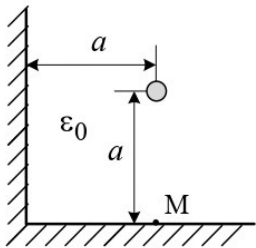
Номер варианта курсовой работы выбирается обучающимся по последней цифре в шифре номера зачетной книжки. Так, например, если последняя цифра шифра 1, то обучающийся выполняет курсовую работу по варианту № 1.

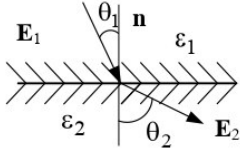
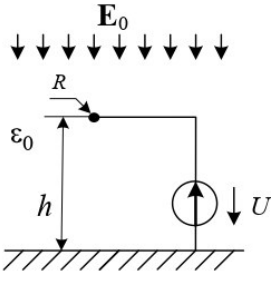
По этому номеру и по таблице вариантов (таблица 1) находятся задачи, которые должен решить студент.

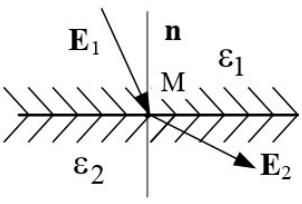
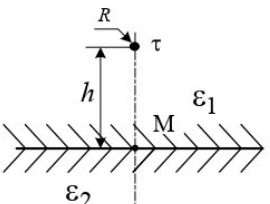
Таблица 1

Задачи	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	26	27	28	29	30	21	22	23	24	25

## ЭЛЕКТРОСТАТИКА

1	<p>Запишите уравнение взаимосвязи между объемной плотностью свободного заряда и потенциалом</p>
2	<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>Найти угол <math>\theta_2</math> под которым линии напряженности однородного электрического поля выходят из стекла с диэлектрической проницаемостью <math>\epsilon_1=7</math> в трансформаторное масло с проницаемостью <math>\epsilon_2=2,5</math>, если угол <math>\theta_1=35^\circ</math>.</p> </div> </div>
3	<p>Объемный заряд распределен равномерно с плотностью <math>\rho</math> внутри непроводящей сферы радиусом <math>R</math>.          Определить напряженность поля вне сферы на расстоянии <math>r</math> от ее центра, если среда, окружающая сферу – воздух.</p>
4	<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>Длинный цилиндрический провод с линейной плотностью заряда <math>\tau</math> расположен в воздухе внутри прямого двугранного угла параллельно его граням.          Найти напряженность поля в точке М, расположенной на нижней грани угла под проводом.</p> </div> </div>
5	<p>Плоский конденсатор емкостью <math>C=50</math> пФ со слюдяным диэлектриком, пробивная прочность которого <math>E_{\text{проб}}=800</math> кВ/см, (<math>\epsilon_c=6,28</math>) должен быть рассчитан на рабочее напряжение 20 кВ и четырехкратный запас прочности по напряженности.          Определить толщину диэлектрика и площадь пластин.</p>

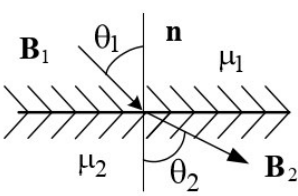
6	<p>В воздухе создано электрическое поле, потенциал которого зависит только от координаты <math>x</math> декартовой системы координат <math>\varphi = 5x^2 + 12x</math> В.</p> <p>Найти объемную плотность свободных зарядов в этом поле.</p>
7	<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>Напряженность равномерного электрического поля в масле (<math>\epsilon_1=2,5</math>) равна <math>E_1=2000</math> В/см и составляет с нормалью к поверхности фарфоровой пластины (<math>\epsilon_2=7,5</math>) угол <math>\theta_1=30^\circ</math>.</p> <p>Найти напряженность поля в фарфоре.</p> </div> </div>
8	<p>Объемный заряд распределен равномерно внутри проводящей сферической оболочки радиусом <math>R</math> с плотностью <math>\rho</math>.</p> <p>Определить напряженность поля <math>E</math> вне оболочки на расстоянии <math>r</math> от ее центра, если проницаемость среды <math>\epsilon_a</math>, а оболочка изолирована.</p>
9	<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>Одиночный протяженный провод радиусом <math>R=1</math> см на высоте <math>h=5</math> м над поверхностью земли находится под напряжением <math>U=11</math> кВ в однородном поле грозовой тучи <math>E_0=2</math> кВ/м.</p> <p>Найти линейную плотность заряда провода.</p> </div> </div>
10	<p>Определить емкость цилиндрического конденсатора с радиусами электродов <math>R_1=1</math> см, <math>R_2=2</math> см и длиной <math>l=10</math> см. Диэлектрическая проницаемость диэлектрика <math>\epsilon=2,5</math>. Искажением поля у краев конденсатора пренебречь.</p>

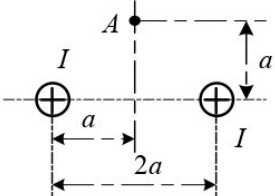
11	<p>В воздухе создано плоскопараллельное электрическое поле, вектор напряженности которого в декартовой системе координат изменяется по закону <math>\mathbf{E} = \mathbf{i}4x^2 + \mathbf{j}3y</math> кВ/м.</p> <p>Найти дивергенцию вектора <math>\mathbf{E}</math> в точке, принятой за начало координат (<math>x=0; y=0</math>).</p>
12	 <p>В точке М со стороны диэлектрика с проницаемостью <math>\epsilon_1=2,5</math> составляющие вектора напряженности плоскопараллельного поля <math>E_{1n}=80</math> В/см и <math>E_{1\tau}=30</math> В/см.</p> <p>Найти напряженность поля в этой точке со стороны диэлектрика <math>\epsilon_2=5</math>.</p>
13	<p>Две бесконечно длинные нити, заряженные разноименно с плотностью <math>\tau=10</math> мкКл/м, находятся в воздухе на расстоянии 1м друг от друга.</p> <p>Найти напряженность поля в точке, лежащей на линии, соединяющей оси и равноудаленной от них.</p>
14	 <p>Над плоской границей раздела двух диэлектриков с относительными проницаемостями <math>\epsilon_1=1</math> и <math>\epsilon_2=7</math> на высоте <math>h=3</math> м подвешен тонкий провод радиусом <math>R=1</math> см с линейным зарядом <math>\tau=10^{-9}</math> Кл/м.</p> <p>Определить поверхностный плотность заряда под проводом в точке М.</p>
15	<p>Определить погонную емкость <math>C_0</math> двухпроводной линии в среде с относительной диэлектрической проницаемостью <math>\epsilon=2</math>, если радиус проводов <math>r=2</math> мм, а расстояние между их осям <math>d=50</math> см.</p>

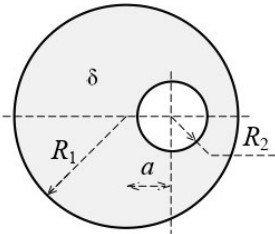


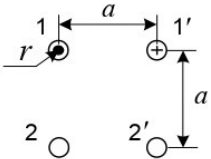
## СТАЦИОНАРНОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

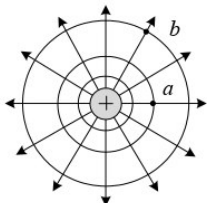
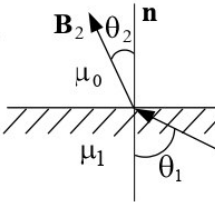
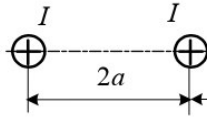
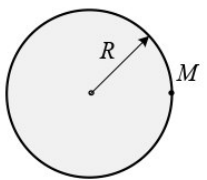
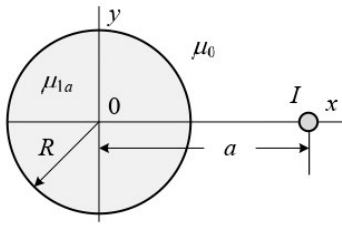
- 16** Поле вектора  $\mathbf{B}$  в декартовых координатах задано выражением:  $\mathbf{B} = iC \sin y$ , где  $C$  – постоянная.  
Определить векторный потенциал поля.

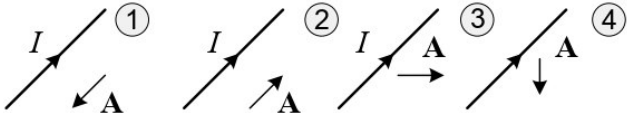
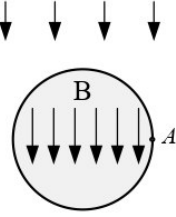
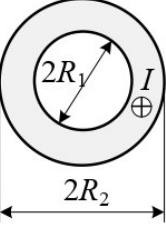

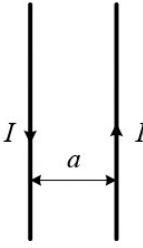
- 17**  Вектор магнитной индукции  $\mathbf{B}_1$  в воздухе ( $\mu_1=1$ ) составляет с нормалью к границе раздела сред угол  $\theta_1=45^\circ$ .  
Определить угол  $\theta_2$ , под которым вектор  $\mathbf{B}_2$  выходит в среду с магнитной проницаемостью  $\mu_2=10$ .

- 18**  Найти величину тока двухпроводной линии, при котором напряженность магнитного поля в точке  $A$  равна  $H=6,37$  А/м. Расстояние  $a=10$  см.

- 19**  Плотность тока в цилиндрическом проводе радиусом  $R=3$  см, имеющем цилиндрическую полость радиусом  $r=1$  см, постоянная и равна  $\delta=4$  А/мм<sup>2</sup>.  
Определить напряженность магнитного поля  $H$  на оси полости, если она смещена от оси цилиндра на  $a=1,5$  см.

- 20**  Определить взаимную индуктивность на единицу длины двух двухпроводных линий, расположенных согласно рис, полагая радиусы проводов  $r$  и расстояние  $a$  известными ( $r < a$ ).

21		<p>Определите минимальную разность скалярных магнитных потенциалов между точками <math>a</math> и <math>b</math> в магнитном поле линейного провода с током <math>I=30</math> А.</p>
22		<p>Линии магнитной индукции <math>\mathbf{B}_1</math> в ферромагнитной среде (<math>\mu_1=100</math>) составляют угол <math>\theta_1=60^\circ</math> по отношению к нормали. Найти угол <math>\theta_2</math>, под которым линии магнитной индукции <math>\mathbf{B}_2</math> выходят в воздух.</p>
23		<p>Магнитное поле создано токами одного направления в длинных параллельных проводах. Определить напряженность магнитного поля в точке А.</p>
24		<p>Плотность тока в медном проводе радиусом <math>R=1</math> см постоянная и равна <math>\delta=1</math> А/мм<sup>2</sup>. Определить векторный магнитный потенциал в точке <math>M</math>, принимая его значение на оси провода равным нулю.</p>
25		<p>Проводник с током <math>I=10</math> А проходит в воздухе параллельно оси длинного цилиндра (<math>\mu_1=50</math>) радиусом <math>R=5</math> см на расстоянии <math>a=10</math> см от нее. Определить силу притяжения провода к цилиндру на единицу длины провода.</p>

26	<p>Укажите, на каком из рисунков вектор-потенциал магнитного поля показан верно.</p> 
27	 <p>Внутри стального цилиндра (<math>\mu=20</math>), внесенного во внешнее магнитное поле в воздухе, установилось однородное поле с индукцией <math>B=2,5 \cdot 10^{-4}</math> Тл.</p> <p>Определить напряженность поля <math>H</math> в точке <math>A</math> со стороны воздуха.</p>
28	 <p>Определить напряженность магнитного поля на оси полого трубчатого провода с током <math>I=100</math> А, расположенного в воздухе.</p> <p>Геометрические размеры провода считать известными.</p>
29	 <p>Определить ток, протекающий по изогнутому полукольцом (радиусом <math>R=10</math> см) проводнику, если в центре полукольца напряженность магнитного поля составляет величину <math>H=15</math> А/см.</p>
30	 <p>Определить силу взаимодействия между проводами воздушной линии на единицу длины с указанным направлением токов <math>I=100</math> А. Расстояние между проводами <math>a=10</math> см.</p>

### 3. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Теоретические сведения должны приводиться по задачам согласно своему варианту.

#### Основные уравнения электростатики

Электростатическое поле описывается дифференциальными уравнениями Максвелла в предположении, что векторы поля не зависят от времени и отсутствуют токи проводимости:

$$\operatorname{rot} \mathbf{E} = 0; \quad (2.1)$$

$$\operatorname{div} \mathbf{D} = \rho; \quad (2.2)$$

$$\mathbf{D} = \varepsilon_a \mathbf{E}. \quad (2.3)$$

К этим уравнениям полезно к добавить их интегральные аналоги:

$$\oint_l \mathbf{E} d\mathbf{l} = 0; \quad (2.4)$$

$$\oint_s \mathbf{D} d\mathbf{S} = q. \quad (2.5)$$

Из уравнений (2.1) и (2.2) следует, что электростатическое поле является потенциальным, а линии поля (векторов  $\mathbf{D}$  и  $\mathbf{E}$ ) имеют истоки и стоки, начинающиеся и заканчивающиеся на зарядах. Иными словами, существует скалярная функция, названная потенциалом

$$\mathbf{E} = -\operatorname{grad} \varphi. \quad (2.6)$$

Уравнение (2.6) определяет функцию  $\varphi$  с точностью до постоянной. Физический смысл потенциала - работа, которую совершают силы электрического поля при перемещении заряда  $q$  из точки 1 в точку 2 против сил поля

$$A = -q \int_1^2 \mathbf{E} d\mathbf{l} = -q \int_1^2 -\operatorname{grad} \varphi d\mathbf{l} = q(\varphi_2 - \varphi_1).$$

Если взять  $q=1$  Кл, получим, что работа по перемещению заряда из точки 1 в точку 2 равна разности потенциалов в конечной и начальной точках пути. При этом работа не зависит от формы пути перемещения заряда. При решении конкретных задач сначала находят потенциал, а затем определяют вектор  $\mathbf{E}$ , полагая, что потенциал бесконечно удаленной точки равен нулю. Единица измерения вольт. Для однородной среды из (1.49) получаем уравнение Пуассона

$$\nabla^2 \varphi = -\rho / \varepsilon_a. \quad (2.7)$$

Если  $\rho=0$ , уравнение Пуассона переходит в уравнение Лапласа

Оператор Лапласа  $\nabla^2 = \Delta$  (лапласиан) в прямоугольной системе координат записывается

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad (2.9)$$

Уравнения Лапласа и Пуассона как уравнения в частных производных допускают бесчисленное множество решений. Выбрать правильное решение позволяет теорема единственности.

## 4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Оформление курсовой работы предусматривает написание пояснительной записки и подготовку материалов, иллюстрирующих доклад на защите. Курсовая работа оформляется в соответствии с требованиями государственных и международных стандартов, действующих на территории Российской Федерации, а также соответствующих стандартов Политеха.

Пояснительная записка должна состоять из обложки (титульного листа), задания на курсовую работу, основного текста, поясняющего сделанную работу и списка использованной литературы и выполняться на листах формата А4 со штампом. Текст пояснительной записки набирается на компьютере в редакторе Microsoft Word.

При оформлении работы следует руководствоваться следующими правилами:

1. Рисунки, графики схемы, символы, размерности физических величин выполняются в соответствии с требованиями ГОСТ.

2. Расчет каждой искомой величины следует выполнять сначала в общем виде, а затем в полученную формулу подставить числовые значения и привести окончательный результат с указанием единицы измерения. Решение задач не следует перегружать приведением всех алгебраических преобразований и расчетов.

3. Промежуточные результаты расчетов и конечный результат должны быть ясно выделены из общего текста.

4. В ходе решения задачи не следует изменять однажды принятые направления токов, напряжений, наименование узлов и т.д. При решении задачи различными методами одна и та же величина должна обозначаться одним и тем же буквенным символом.

5. Курсовая работа должна сканироваться и прикрепляться в LMS <https://lms.mospolytech.ru> и в личный кабинет студента <http://students.polytech21.ru/login.php>

Пример оформления титульного листа, листа задания на курсовую работу и бланков со штампами приведены в ниже.

Обозначения на титульном листе ХХХ - номер группы, NNN - последние три цифры зачетной книжки.

## **КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ ПРИ ЗАЩИТЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

Защита курсовой работы является завершающим этапом данного вида занятия и служит формой проверки выполнения студентами заданий к курсовой работе и уровня усвоения учебного материала.

Защита проводится в соответствии с графиком до начала экзаменационной сессии и принимается комиссией, члены которой задают вопросы по существу работы и выносят решение об оценке.

Оценка **«отлично»** выставляется студенту, обнаружившему всесторонние систематические и глубокие знания материала по курсовой работе, умение свободно выполнять задания.

Оценка **«хорошо»** выставляется студенту, показавшему систематический характер знаний по теме курсовой работы.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется студенту, допустившему погрешности при выполнении курсовой работы, но обладающему необходимыми знаниями для их устранения.

Оценка **«неудовл.»** выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях основного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении курсовой работы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л. Теоретические основы электротехники. Том 3. – Спб.: Питер, 2003. - 377с.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле. – М.: Высш. школа, 1986. – 263 с.
3. Вольман В.И., Пименов Ю.В., Техническая электродинамика. – М.: «Связь», 1971. – 487 с.
4. Сборник задач и упражнений по теоретическим основам электротехники / Под редакцией П.А. Ионкина. – М.: Энергоиздат, 1982. – 768 с.
5. Теоретические основы электротехники. Том 2. Нелинейные цепи и основы теории электромагнитного поля / Под редакцией П.А. Ионкина. – М.: «Высш. школа», 1976. – 383 с.
6. Сборник задач по теоретическим основам электротехники: Учеб. пособие для энерг. и приборост. спец. вузов / Под редакцией Л.А. Бессонова. – М.: Высш. школа. 1988.-543 с.
7. Исаев Ю.Н., Купцов А.М. Электротехника. Решение задач в системе MathCAD. Учеб. пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 126 с.