



**Некоммерческое  
акционерное  
общество**

**АЛМАТИНСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
ЭНЕРГЕТИКИ И  
СВЯЗИ**

Кафедра теоретических  
основ электротехники

## **ТЕОРИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ.**

Методические указания и задания  
к выполнению расчетно-графических работ № 1,2,3 для специальности  
5В081200 – Энергообеспечение сельского хозяйства

Алматы 2015

Составители: Л.П. Болдырева, Г.К. Смагулова. Теория нелинейных цепей и электрического поля. Методические указания и задания по выполнению расчетно-графических работ №1,2,3 для специальности 5В081200 – Энергообеспечение сельского хозяйства. –Алматы: АУЭС, 2015.- 24 стр.

Представлены методические указания и задания к расчетно-графическим работам по курсу «Теория нелинейных цепей и электрического поля» по разделам «Переходные процессы в линейных электрических цепях второго порядка», «Цепи с распределенными параметрами», « Теория электромагнитного поля». Расчетно-графические работы предназначены для студентов второго курса, обучающихся в бакалавриате по специальности 5В081200 – Энергообеспечение сельского хозяйства

Ил. 17, табл.9 , библиогр.10 назв.

Рецензент: кандидат технических наук Цыба Ю.А.

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи» на 2015 г.

© «Алматинский университет энергетики и связи» НАО, 2015 г.

## Содержание

1 Методические указания к выполнению и оформлению расчетно-графических работ.....	4
2 Задание №1. Переходные процессы в линейных электрических цепях второго порядка.....	5
3 Задание №2. Цепи с распределенными параметрами.....	9
4 Задание №3. Теория электромагнитного поля.....	12
Список литературы.....	23

## 1 Методические указания к выполнению и оформлению расчетно-графических работ

При выполнении расчетно-графических работ необходимо руководствоваться следующими требованиями:

- выбрать свой вариант в соответствии с номером студенческого билета и первой буквой фамилии, текст задания переписать полностью без сокращений в пояснительную записку расчетно-графической работы;

- каждый этап расчетно-графической работы должен быть озаглавлен. Работа выполняется только на одной стороне листа;

- в пояснительной записке приводить не только расчетные формулы и конечные результаты, но также пояснения и необходимые промежуточные вычисления, позволяющие понимать выполняемые действия и проверять их;

- номер варианта, группа, фамилия и инициалы студента должны быть написаны на титульном листе;

- у параметров, имеющих определенные размерности, писать соответствующие единицы измерения, над комплексами ставить точки;

- не допускать изменений наименований узлов, параметров резисторов, индуктивностей, емкостей, условных положительных направлений токов и напряжений;

- кривые мгновенных величин, векторные, топографические и круговые диаграммы должны выполняться на вклеенных листах миллиметровой или клетчатой бумаги;

- на графике обязательно указывать названия изображаемых величин. Подбирать масштабы так, чтобы было удобно пользоваться графиком или диаграммой. Схемы в пояснительной записке должны быть выполнены карандашом с применением линейки, циркуля;

- избегать сокращений слов (не писать вместо «уравнение» – «ур-ие» , «напряжение» – «напр.» и т. д.);

- оформление расчетно-графических работ необходимо осуществлять в соответствии с фирменным стандартом «Работы учебные. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию», АУЭС, 2015.

## 2 Задание № 1. Переходные процессы в линейных электрических цепях второго порядка

Цель: получение навыков расчета переходных процессов в линейной электрической цепи второго порядка классическим и операторным методом.

В электрической цепи (рисунок 2.1-2.10) возникает переходный процесс в результате коммутации. Номер схемы и параметры элементов цепи выбираются по таблицам 2.1-2.3 в соответствии с номером студенческого билета и первой буквой фамилии.

Требуется выполнить следующее: определить закон изменения во времени переходного тока в одной из ветвей или переходного напряжения на каком-либо элементе цепи после коммутации. Расчет следует провести двумя методами: классическим и операторным.

Таблица 2.1

Год поступления	Последняя цифра студенческого билета									
	Нечетный	5	2	9	4	1	6	7	8	3
№ схемы	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10
Четный	0	1	8	3	4	9	6	7	2	5
№ схемы	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.10	2.9	2.8	2.7	2.6

Таблица 2.2

Год поступления	Предпоследняя цифра студенческого билета									
	Нечетный	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Четный	0	9	8	7	6	5	4	3	2	1
$E, B$	100	350	300	350	400	150	250	220	380	450
$R_1, Ом$	200	150	100	250	230	125	175	120	180	220
$L, мГн$	20	55	40	35	15	10	30	25	50	45
$R_2, Ом$	160	120	230	100	200	260	220	180	250	130

Таблица 2.3

Год поступления	Начальная буква фамилии									
	Нечетный	АВ М	БО Ю	НП Я	ГР Щ	ДИ С	ЖУ Ш	ЧХ Л	КЦ Э	ЕТ
Четный	НП Я	ГР Щ	ДИ С	ЖУ Ш	ЧХ Л	АВ М	ЕТ	ЗФ	БО Ю	КЦ Э
$R_3, Ом$	40	65	80	55	100	75	60	85	70	55
$C, мкФ$	6	4	5	2	3	9	12	7	10	8
Искомая величина	$u_c(t)$	$i_L(t)$	$u_L(t)$	$i_c(t)$	$u_c(t)$	$i_L(t)$	$u_L(t)$	$i_c(t)$	$u_c(t)$	$i_L(t)$

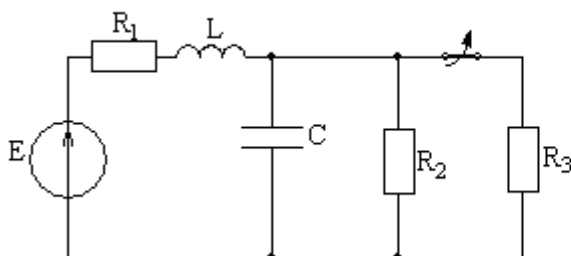


Рисунок 2.1

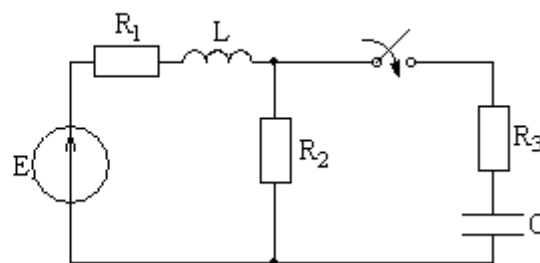


Рисунок 2.2

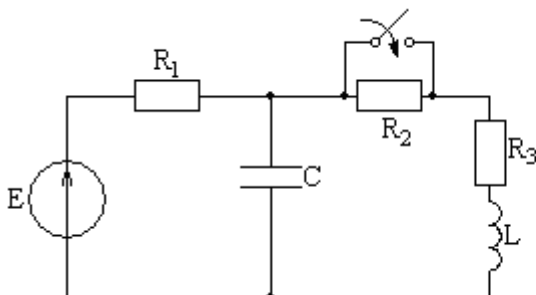


Рисунок 2.3

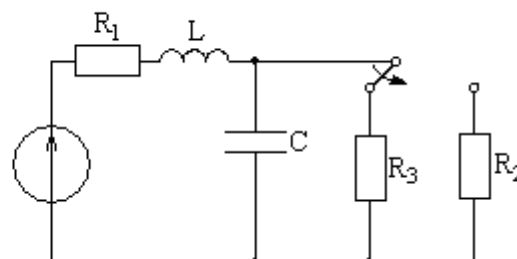


Рисунок 2.4

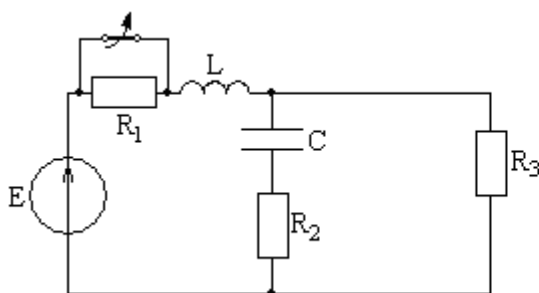


Рисунок 2.5

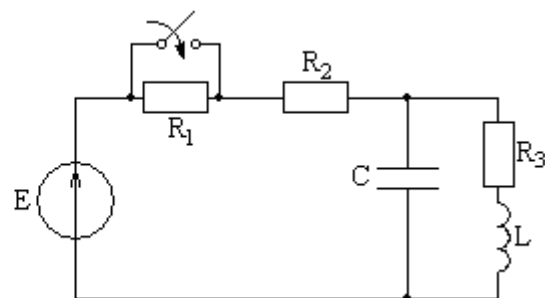


Рисунок 2.6

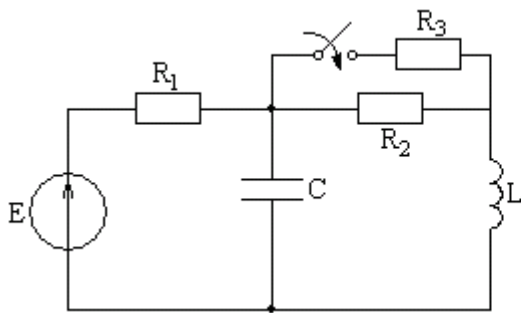


Рисунок 2.7

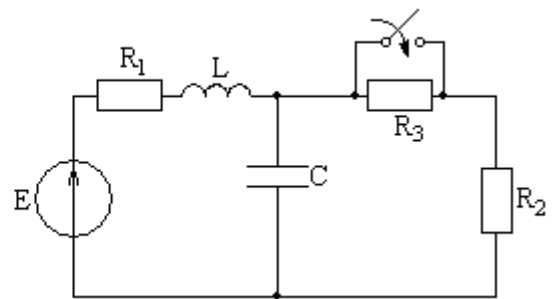


Рисунок 2.8

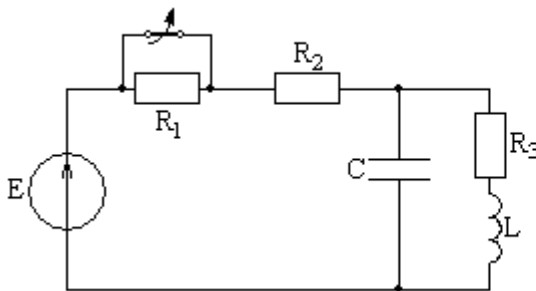


Рисунок 2.9

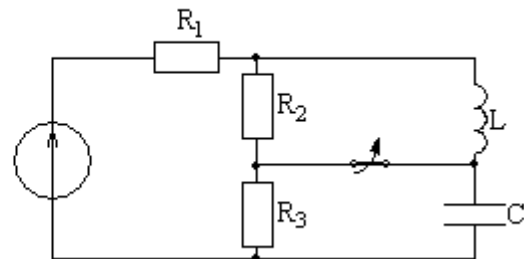


Рисунок 2.10

## Методические указания к выполнению расчетно-графической работы №1

Методика расчёта переходных процессов классическим методом включает следующие этапы:

1) определение независимых начальных условий:  $i_L(0), u_C(0)$ ; независимые начальные условия определяются путём расчёта установившегося режима в цепи до коммутации и с применением законов коммутации:

$$i_L(0_+) = i_L(0) = i_L(0_-); \quad u_C(0_+) = u_C(0) = u_C(0_-);$$

2) составление дифференциальных уравнений по законам Кирхгофа для цепи после коммутации;

3) запись выражения для искомого переходного тока или переходного напряжения в виде:

$$i(t) = i_{\text{пр}} + i_{\text{св}}; \quad u(t) = u_{\text{пр}} + u_{\text{св}};$$

4) определение принуждённого тока  $i_{\text{пр}}$  или принужденного напряжения  $u_{\text{пр}}$  путём расчёта установившегося режима в цепи после коммутации;

5) определение свободного тока  $i_{\text{св}}$  или напряжения  $u_{\text{св}}$ . Для определения свободного тока  $i_{\text{св}}$  или свободного напряжения  $u_{\text{св}}$  составляется характеристическое уравнение. Для составления характеристического уравнения записывается входное комплексное сопротивление цепи  $Z(j\omega)$ , заменяется  $j\omega \rightarrow p$  и полученное выражение  $Z(p) = 0$ . Решается полученное уравнение и находятся корни  $P_1$  и  $P_2$ . Запись

выражения  $i_{CB}$  или  $u_{CB}$  определяется типом корней характеристического уравнения:

корни характеристического уравнения вещественные и различные  $p_1 < 0, p_2 < 0$ :

$$i_{CB}(t) = A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t}; \quad u_{CB}(t) = A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t};$$

корни характеристического уравнения вещественные и равные  $p_1 = p_2 = p < 0$ :

$$i_{CB}(t) = (A_1 + A_2 t) e^{p t}; \quad u_{CB}(t) = (A_1 + A_2 t) e^{p t};$$

корни характеристического уравнения комплексно-сопряженные  $p_{1,2} = -\alpha \pm j\omega_{CB}$  ( $\alpha$  – коэффициент затухания,  $\omega_{CB}$  – частота свободных колебаний):

$$i_{CB}(t) = A e^{-\alpha t} \sin(\omega_{CB} t + \psi); \quad u_{CB}(t) = A e^{-\alpha t} \sin(\omega_{CB} t + \psi);$$

б) определение постоянных интегрирования  $A_1, A_2$  или  $A, \psi$  находим по начальным значениям искомой величины и её первой производной.

Методика расчёта переходных процессов операторным методом включает следующие этапы:

1) определение независимых начальных условий:  $i_L(0), u_C(0)$ ;

2) составление эквивалентной операторной схемы (схема составляется для цепи после коммутации).

3) Составление уравнений для определения изображения искомой величины, используя любой из методов расчёта: законы Кирхгофа в операторной форме, метод контурных токов, метод узловых потенциалов, метод эквивалентного генератора и т.п. (уравнения составляются для цепи после коммутации) и определение изображения искомой величины;

4) определение искомой величины (оригинала) по найденному изображению, используя теорему разложения:

а) если корни характеристического уравнения  $F_2(p) = 0, p_1, p_2$  – вещественные и различные, то оригинал:

$$\frac{F_1(p)}{F_2(p)} \doteq f(t) = \frac{F_1(p_1)}{F_2'(p_1)} e^{p_1 t} + \frac{F_1(p_2)}{F_2'(p_2)} e^{p_2 t},$$

где  $F_2'(p) = dF(p)/dp$ .

б) знаменатель имеет один нулевой корень и корни характеристического уравнения  $F_2(p) = 0, p_1, p_2$  – вещественные и различные, то оригинал:

$$\frac{F_1(p)}{p F_2(p)} \doteq f(t) = \frac{F_1(0)}{F_2(0)} + \frac{F_1(p_1)}{p_1 F_2'(p_1)} e^{p_1 t} + \frac{F_1(p_2)}{p_2 F_2'(p_2)} e^{p_2 t},$$

в) корни характеристического уравнения  $F_2(p) = 0$  комплексно-сопряженные  $p_{1,2} = -\alpha \pm j\omega_{CB}$ , то оригинал:

$$\frac{F_1(p)}{F_2(p)} \doteq f(t) = 2 \operatorname{Re} \left[ \frac{F_1(p_1)}{F_2'(p_1)} e^{p_1 t} \right],$$



г) знаменатель имеет один нулевой корень и корни характеристического уравнения  $F_2(p) = 0$  комплексно-сопряженные  $p_{1,2} = -\alpha \pm j\omega_{CB}$ :

$$\frac{F_1(p)}{pF_2(p)} \doteq f(t) = \frac{F_1(0)}{F_2(0)} + 2\operatorname{Re} \left[ \frac{F_1(p_1)}{p_1 F_2'(p_1)} e^{p_1 t} \right].$$

### 3 Задание № 2. Цепи с распределенными параметрами

Цель: получение навыков расчета длинных линий в различных режимах.

Трехфазная линия передачи электроэнергии длиной  $\ell$  с первичными параметрами  $R_0, L_0, C_0$  и  $G_0$  работает при номинальном фазном напряжении  $U_H$  и частоте  $f = 50 \text{ Гц}$ . Первичные параметры линии, номинальное напряжение, длина линии, параметры нагрузки выбираются в соответствии с вариантом по таблицам 3.1-3.3.

Произвести расчет для следующих режимов работы линии:

а) линия питает трехфазную нагрузку с активной мощностью одной фазы  $P_2$ , напряжение на нагрузке  $U_2$  равно номинальному, коэффициент мощности нагрузки  $\cos \varphi_2$ . Рассчитать напряжение  $\dot{U}_1$  и ток  $\dot{I}_1$  в начале и ток  $\dot{I}_2$  в конце линии, к.п.д. работы линии;

б) определить напряжение в конце линии  $\dot{U}_2$  и ток в начале линии  $\dot{I}_1$  при сбросе всей нагрузки в конце линии (в режиме холостого хода) и напряжении в начале линии, равном номинальному;

в) при согласованной нагрузке (сопротивление нагрузки равно волновому сопротивлению линии) определить естественную мощность, передаваемую нагрузке, напряжение  $\dot{U}_1$  и ток  $\dot{I}_1$  в начале и ток  $\dot{I}_2$  в конце линии, КПД линии, напряжения на нагрузке  $U_2$  равно номинальному.

Таблица 3.1

Год поступления	Последняя цифра студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Нечетный	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Четный	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
$U_H, кВ$	350	650	400	230	250	600	110	500	220	330
$R_0, Ом/км$	0,03	0,05	0,06	0,07	0,09	0,1	0,04	0,06	0,08	0,1
$G_0 \cdot 10^{-6}, См/км$	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,015	0,07	0,05	0,04	0,03
$P_2, МВт$	350	300	200	150	100	50	450	250	170	120

Таблица 3.2

Год поступления	Предпоследняя цифра студенческого билета									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Нечетный	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Четный	0	9	8	7	6	5	4	3	2	1
$L_0 \cdot 10^{-3}, Гн/км$	2,1	2,3	2,5	2,4	2,0	2,25	2,15	2,45	2,5	2,35
$\cos \varphi_2$	0,95	0,97	0,98	0,96	0,99	0,965	0,975	0,985	0,955	0,95

Таблица 3.3

Год поступления	Начальная буква фамилии									
	АН М	БС Ю	ВП Я	ГР Щ	ДО И	ЕТ Ш	ЖУ	ЗФ	ЧХ Л	КЦ Э
Нечетный	АН М	БС Ю	ВП Я	ГР Щ	ДО И	ЕТ Ш	ЖУ	ЗФ	ЧХ Л	КЦ Э
Четный	КЦ Э	ЧХ Л	ЗФ	ЖУ	ЕТ Ш	ДО И	ГР Щ	ВП Я	БС Ю	АН М
$C_0 \cdot 10^{-9}, Ф/км$	14,3	14,0	13,0	13,5	12,0	12,5	12,3	12,7	13,7	14,5
$\ell, км$	900	730	680	850	800	650	820	750	870	700

### Методические указания к выполнению расчетно-графической работы №2

Параметры однородной линии. Первичными параметрами однородной линии на единицу ее длины являются:  $R_0$  - сопротивление, Ом;  $L_0$  - индуктивность, Гн;  $C_0$  - емкость, Ф;  $G_0$  - проводимость изоляции между проводами (утечка), См/м.

$$Z_0 = R_0 + j\omega L_0,$$

$$Y_0 = G_0 + j\omega C_0.$$

Вторичные параметры однородной линии:  $Z_B$  - волновое (характеристическое) сопротивление

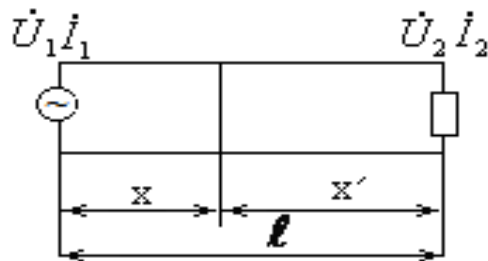
$$\underline{Z}_B = \sqrt{\frac{\underline{Z}_0}{\underline{Y}_0}}$$

$\gamma$  - коэффициент распространения

$$\underline{\gamma} = \sqrt{\underline{Z}_0 \cdot \underline{Y}_0} = \alpha + j\beta$$

где,  $\alpha$  - коэффициент затухания,  $\beta$  - коэффициент фазы.

Уравнения однородной линии с гиперболическими функциями.



Эти уравнения позволяют рассчитывать комплексы напряжений и токов в любой точке линии, отстоящей на расстоянии  $x$  от её начала через заданные напряжения и ток в начале линии, т.е.  $U_1; I_1$ .

$$\dot{U} = \dot{U}_1 \operatorname{ch} \underline{\gamma} x - \dot{I}_1 \underline{Z}_B \cdot \operatorname{sh} \underline{\gamma} x,$$

$$\dot{I} = -\frac{\dot{U}_1}{\underline{Z}_B} \cdot \operatorname{sh} \underline{\gamma} x + \dot{I}_1 \operatorname{ch} \underline{\gamma} x$$

Эти уравнения позволяют рассчитывать комплексы напряжений и токов в любой точке, отстоящей на расстоянии  $x'$  от конца линии через заданные комплексы напряжения и токов от конца линии, т.е.  $U_2; I_2$ .

$$\dot{U} = \dot{U}_2 \operatorname{ch} \underline{\gamma} x + \dot{I}_2 \underline{Z}_B \cdot \operatorname{sh} \underline{\gamma} x,$$

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_2}{\underline{Z}_B} \cdot \operatorname{sh} \underline{\gamma} x + \dot{I}_2 \operatorname{ch} \underline{\gamma} x.$$

Под входным сопротивлением линий  $\underline{Z}_{BX}$  понимают сопротивление двухполюсника, которым можно заменить линию вместе с приемником на её конце при расчете режима в начале линии.

Если  $x = l$  получим:

$$\underline{Z}_{\text{вх}} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} = \frac{\dot{U}_2 \operatorname{ch} \underline{\gamma} l + \dot{I}_2 \underline{Z}_B \operatorname{sh} \underline{\gamma} l}{\frac{\dot{U}_2}{\underline{Z}_B} \operatorname{sh} \underline{\gamma} l + \dot{I}_2 \operatorname{ch} \underline{\gamma} l}.$$

#### 4 Задание № 3. Теория электромагнитного поля

Цель: получение навыков при расчете электрических и магнитных полей.

Задание содержит две задачи на темы:

- расчет электрических полей;
- расчет магнитных полей постоянного тока.

Номера задач, которые должны быть решены студентом и данные для расчета, указаны в таблицах 4.1, 4.2, 4.3.

Задача 4.1. Параллельно плоской границе раздела двух сред с диэлектрическими проницаемостями  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  протянуты два параллельных длинных провода одинакового сечения с радиусом  $R$  на расстоянии  $d$  друг от друга и на расстоянии  $h_1$  и  $h_2$  от граничной плоскости. Проводам сообщены заряды  $\tau_1$  и  $\tau_2$ . Взаимное расположение проводов и плоскости раздела двух сред показано на рисунке 4.1.

Требуется:

- 1) для варианта а: определить напряжение между проводами;
- 2) для варианта б: определить плотность связанного заряда в точке  $K$  ( $X_K, Y_K = 0$ ) на граничной плоскости.

Задача 4.2. Два тонких параллельных бесконечно длинных провода одинакового сечения радиусом  $R$  расположены в воздухе параллельно поверхности земли на высоте  $h_1$  и  $h_2$ . Расстояние между проводами  $d$ . К проводам приложено напряжение  $U$  от незаземленного источника питания (рисунок 4.2).

Требуется:

- рассчитать потенциальные и емкостные коэффициенты;
- определить линейные плотности зарядов каждого провода;
- рассчитать рабочую емкость двухпроводной линии.

Задача 4.3. Полусферический заземлитель зарыт в грунт с удельной проводимостью  $\gamma_1$  вровень с поверхностью. Радиус заземлителя  $R_3$ . К заземлителю подводится постоянный ток  $I$  (рисунок 3.3).

Требуется:

- определить шаговое напряжение  $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$ , точки  $A$  и  $B$  расположены соответственно на расстоянии  $R_A$  и  $R_B = R_A + 0,8$  м от центра заземлителя;
- определить сопротивление растекания;
- определить напряженность электрического поля в точке  $C$ , расположенной в грунте на расстоянии  $R_C$  от центра заземлителя.

Задача 4.4. Сферический заземлитель радиуса  $R_3$  находится глубоко в грунте с удельной проводимостью  $\gamma_1$ , на расстоянии  $d$  от границы раздела двух сред с удельными проводимостями  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$ . К заземлителю подводится ток  $I$  (рисунок 4.4). Влиянием поверхности грунта можно пренебречь.

Требуется:

- определить напряжение растекания  $U_p$  ;
- определить вектор напряженности электрического поля в точках А и D.

Задача 4.5. По уединенному бесконечно длинному прямому проводу круглого сечения радиусом  $R$  протекает постоянный ток  $I$ . Магнитная проницаемость провода -  $\mu$ , окружающая среда – воздух. Плотность тока по сечению провода равномерная (рисунок 4.5).

Требуется:

- 1) для варианта а: рассчитать вектор напряженности магнитного поля  $\vec{H}$  и вектор магнитной индукции  $\vec{B}$  внутри и вне провода. Построить графики  $H(r)$  и  $B(r)$  (где  $r$  – расстояние от оси провода);
- 2) для варианта б: рассчитать внутреннюю индуктивность участка провода длиной  $\ell = 1\text{ м}$  ;
- 3) для варианта в: определить векторный потенциал  $\vec{A}$  внутри и вне провода, на расстоянии от оси провода:  $r_{\text{ВНУТ}} = 0,5R$  и  $r_{\text{ВНЕШ}} = 2R$ .

Задача 4.6. Двухпроводная линия состоит из длинных цилиндрических проводов круглого сечения. Радиусы проводов одинаковы и равны  $R$ . Провода расположены параллельно друг другу на расстоянии  $d$ . Ток в линии –  $I$ , окружающая среда-воздух (рисунок 4.6).

Требуется:

- 1) для варианта а: определить вектор напряженности магнитного поля  $\vec{H}$  в точке  $N(X_N, Y_N)$  ;
- 2) для варианта б: определить векторный потенциал  $\vec{A}$  для точки  $N(X_N, Y_N)$  ;
- 3) для варианта в: определить внешнюю индуктивность на единицу длины линии.

Задача 4.7. На расстоянии  $d$  от прямого длинного тонкого провода с постоянным током  $I$  расположена прямоугольная рамка со сторонами  $a$  и  $b$ , с числом витков  $w$  из тонкого изолированного провода. По рамке протекает ток  $I_1$ . Две стороны рамки параллельны оси провода (рисунок 4.7).

Требуется:

- рассчитать магнитный поток, пронизывающий рамку;
- рассчитать взаимную индуктивность между проводом и рамкой;
- определить силу  $\vec{F}$  , действующую на рамку.

Таблица 4.1

Год поступле- ния	Начальная буква фамилии									
	АБВ	ЕТД	ИЗЖ	ЦХ	ЩШ Ч	ЯЮЭ	ЛК	ОНМ	СРП	ФУТ
Четный	АБВ	ЕТД	ИЗЖ	ЦХ	ЩШ Ч	ЯЮЭ	ЛК	ОНМ	СРП	ФУТ
Нечетный	ЮТ	ЭИУ	СЗ	ПРЖ	ОЩЕ	НШД	МЧГ	ЛЦВ	КХБ	АЯФ
№ задач	4.1а	4.2	4.3	4.1б	4.4	4.1а	4.2	4.3	4.1б	4.4
	4.6а	4.5в	4.6а	4.7	4.5б	4.5а	4.6б	4.5а	4.5б	4.6в
$\varepsilon_1$	3	-	-	4	-	6	-	-	9	-
$\varepsilon_2$	5	-	-	2	-	8	-	-	7	-
$\tau_1, Кл/м$	$2 \cdot 10^{-9}$	-	-	$5 \cdot 10^{-9}$	-	$-6 \cdot 10^{-9}$	-	-	$-5 \cdot 10^{-9}$	-
$\tau_2, Кл/м$	$-4 \cdot 10^{-9}$	-	-	$-3 \cdot 10^{-9}$	-	$4 \cdot 10^{-9}$	-	-	$7 \cdot 10^{-9}$	-
$X_K, м$	0,3	-	-	0,4	-	0,5	-	-	0,2	-

Таблица 4.2

Год поступления	Последняя цифра студенческого билета									
	Четный	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Нечетный	0	9	8	7	6	5	4	3	2	1
$d, м$	0,60	0,80	0,66	0,70	0,74	0,90	0,68	0,86	0,76	0,64
$R, м$	0,009	0,007	0,008	0,006	0,004	0,005	0,008	0,007	0,006	0,004
$h_1, м$	0,40	0,60	0,58	0,46	0,30	0,38	0,56	0,44	0,34	0,48
$\gamma_1, См \cdot м^{-1}$	$7,5 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$9 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-2}$	$8,5 \cdot 10^{-2}$	$7 \cdot 10^{-2}$	$6,5 \cdot 10^{-2}$
$I_1, А$	20	10	30	20	28	18	16	25	15	35
$R_D, м$	0,80	0,96	0,90	0,86	0,90	1,20	0,88	1,15	1,00	0,95
$\gamma_2, См \cdot м^{-1}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-2}$	$7 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$9 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$4,5 \cdot 10^{-2}$	$8,5 \cdot 10^{-2}$	$7,5 \cdot 10^{-2}$
$\mu$	100	150	200	300	250	50	350	90	280	180
$X_N, м$	0,40	0,60	0,30	0,25	0,35	0,45	0,48	0,50	0,40	0,20
$v, м$	0,50	0,60	0,55	0,70	0,64	0,76	0,80	0,58	0,68	0,85

Таблица 4.3

Год поступления	Предпоследняя цифра студенческого билета									
	0	9	1	8	7	2	6	3	4	5
Четный	0	9	1	8	7	2	6	3	4	5
Нечетный	5	4	3	6	2	7	8	1	9	0
$h_2, м$	0,68	0,74	0,88	0,90	0,98	0,76	0,84	0,70	0,96	0,86
$U, B$	300	500	600	700	400	800	220	380	900	750
$R_3, м$	0,12	0,20	0,25	0,15	0,10	0,18	0,26	0,16	0,24	0,14
$R_A, м$	0,30	0,40	0,45	0,25	0,20	0,40	0,36	0,28	0,40	0,22
$R_c, м$	0,40	0,50	0,45	0,35	0,30	0,36	0,55	0,60	0,50	0,38
$I, A$	40	80	60	50	100	90	70	95	75	85
$Y_N, м$	0,80	0,64	0,70	0,60	0,90	0,86	0,78	0,96	0,66	0,75
$W$	250	300	450	500	600	550	350	200	700	650
$a, м$	0,42	0,36	0,28	0,40	0,30	0,20	0,40	0,38	0,24	0,34



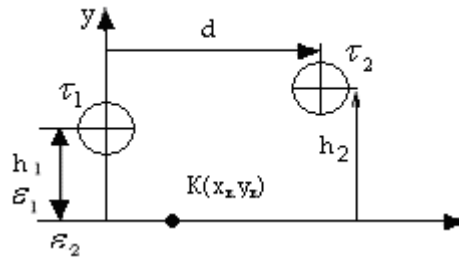


Рисунок 4.1

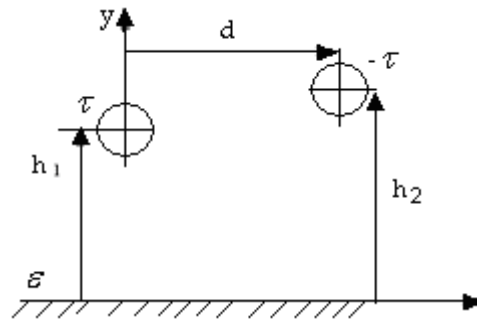


Рисунок 4.2

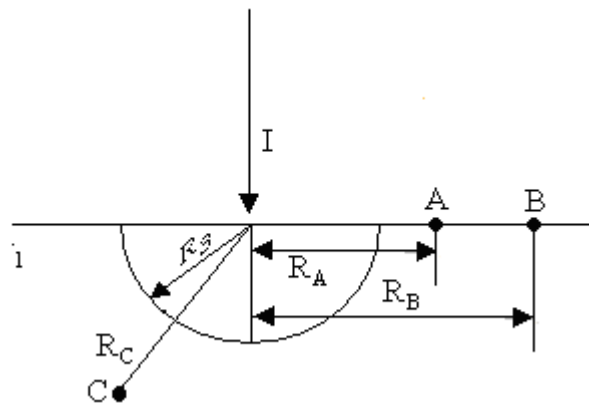


Рисунок 4.3

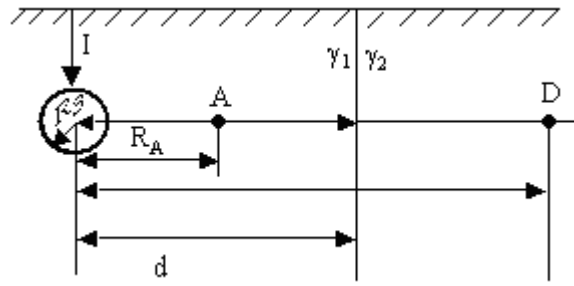


Рисунок 4.4

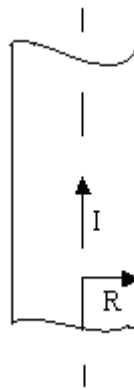


Рисунок 4.5

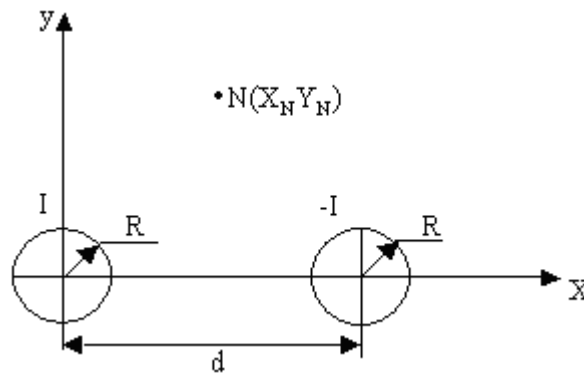


Рисунок 4.6

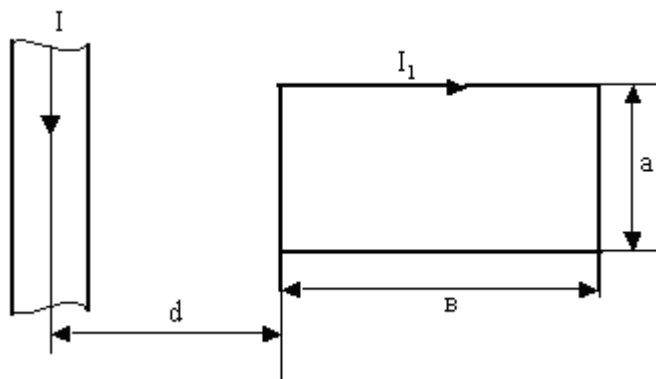


Рисунок 4.7

### Методические указания к выполнению расчетно-графической работы №3

Расчет плоскопараллельного электростатического поля двухпроводной линии.

Геометрические параметры двухпроводной линии  $a$ ,  $S_1$ ,  $S_2$  ( рисунок 4.8 ) вычисляются по формулам:

$$S_1 = \frac{d^2 + R_1^2 - R_2^2}{2d}, \quad S_2 = \frac{d^2 + R_2^2 - R_1^2}{2d}, \quad a = \sqrt{S_1^2 - R_1^2} = \sqrt{S_2^2 - R_2^2},$$

где,

$d = S_1 + S_2$  – расстояние между геометрическими осями проводов;

$S_1$ ,  $S_2$  – расстояние от геометрических осей проводов до плоскости нулевого потенциала;

$R_1$ ,  $R_2$  – радиусы проводов;

$a$  – расстояние электрических осей от плоскости нулевого потенциала.

Емкость двухпроводной линии  $C$  определяется выражением:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{(S_1 + a)(S_2 + a)}{R_1 R_2}},$$

где

$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$  – электрическая постоянная;

$\epsilon = 1$  – относительная диэлектрическая проницаемость воздуха.

Потенциалы на поверхности проводов  $\phi_1$ ,  $\phi_2$  рассчитываются по формулам:

$$\phi_1 = \frac{CU}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{S_1 + a}{R_1}, \quad \phi_2 = \frac{CU}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{R_2}{S_2 + a}.$$

Напряженности поля на поверхности проводов вычисляются по формулам ( рисунок 4.8 ):

$$E_M = \frac{CU}{2\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{R_M} - \frac{1}{R_M + 2a} \right), \quad E_N = \frac{CU}{2\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{R_N} + \frac{1}{2a - R_N} \right),$$

$$E_L = \frac{CU}{2\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{2a - R_L} + \frac{1}{R_L} \right), \quad E_K = \frac{CU}{2\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{R_K} - \frac{1}{R_K + 2a} \right),$$

где:

$R_M = S_1 - a + R_1$  – расстояние от положительной электрической оси до точки М,

$R_N = R_1 - (S_1 - a)$  – расстояние от положительной электрической оси до точки N,

$R_L = R_2 - (S_2 - a)$  – расстояние от положительной электрической оси до точки L,

$R_K = S_2 - a + R_2$  – расстояние от положительной электрической оси до точки К.

Плотность поверхностного электрического заряда вычисляется по формуле:

$$\sigma_M = \epsilon_0 E_M, \quad \sigma_N = \epsilon_0 E_N, \quad \sigma_L = \epsilon_0 E_L, \quad \sigma_K = \epsilon_0 E_K.$$

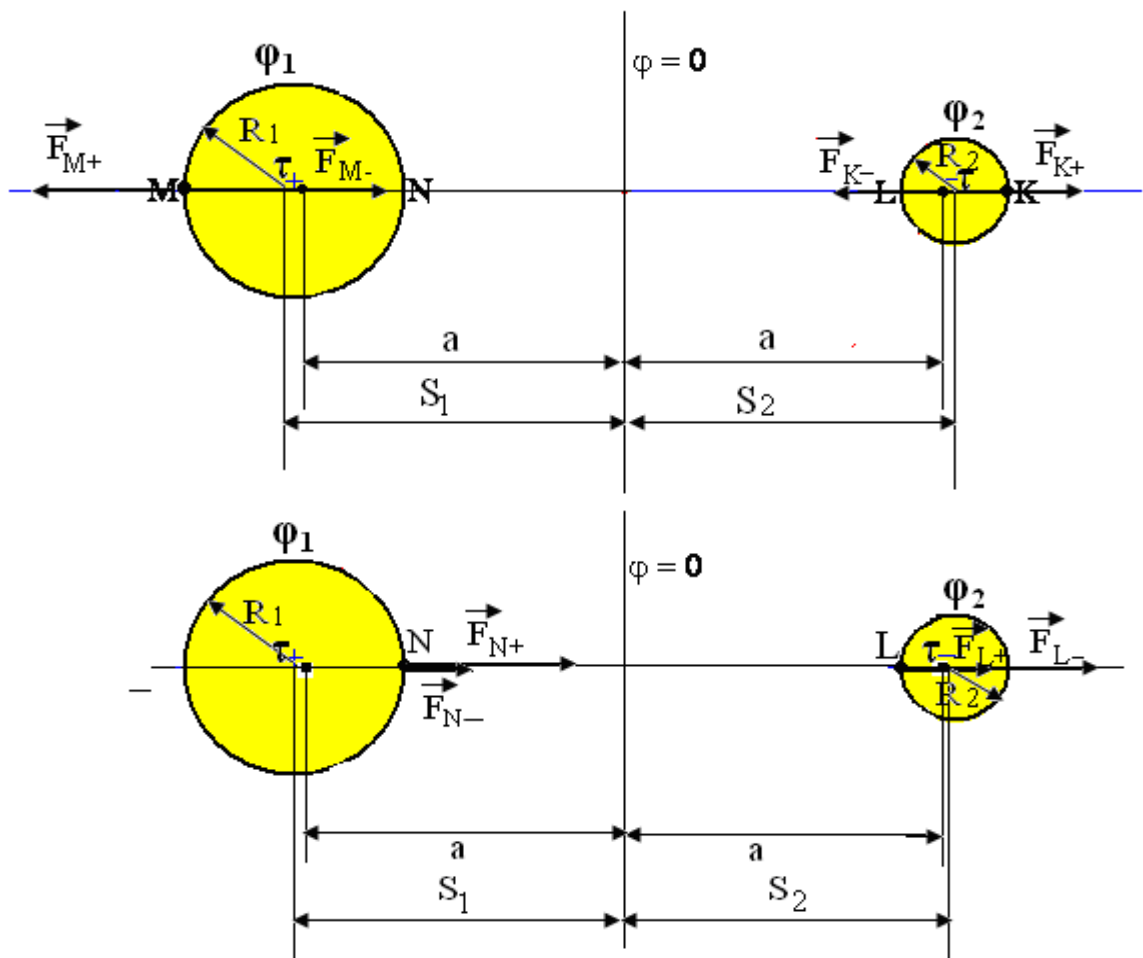


Рисунок 4.8

Расчет магнитного поля прямого длинного провода расположенного вблизи прямоугольной рамки.

На расстоянии  $d$  от прямого длинного тонкого провода с постоянным током  $I$  расположена прямоугольная рамка с числом витков  $\omega$  из тонкого изолированного провода. По рамке протекает ток  $I_1$ . Две стороны рамки (а и в) параллельны оси провода (рисунок 4.9).

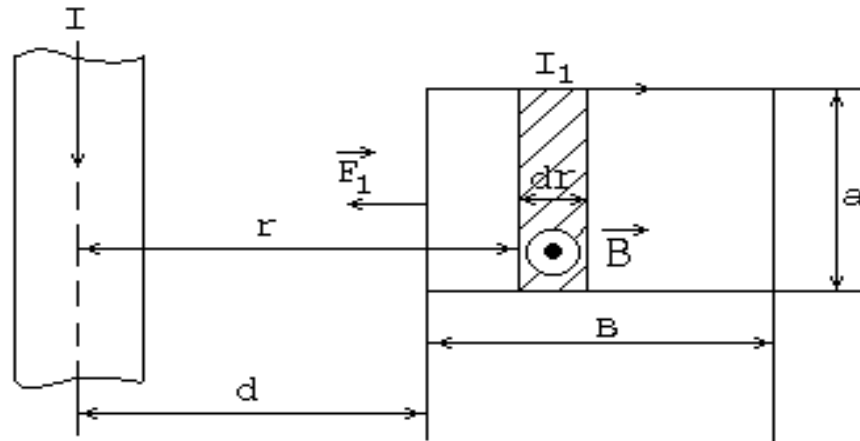


Рисунок 4.9

Определение магнитного потока взаимной индукции.

Рассчитаем магнитный поток взаимной индукции  $\Phi_m$  магнитного поля тока  $I$ , пронизывающий рамку.

Магнитная индукция  $\vec{B}$  магнитного поля тока  $I$  определяется по формуле:

$$B = \frac{\mu_a I}{2\pi r},$$

где  $\mu_a = \mu_0 \mu$ ,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн / м}$  - магнитная постоянная;

$\mu = 1$  - относительная магнитная проницаемость среды;

$r$  - расстояние от оси провода с током  $I$  до элементарной площадки  $ds = adr$ .

Магнитная индукция  $\vec{B}$  направлена перпендикулярно поперечному сечению рамки «к нам».

Магнитный поток взаимной индукции  $\Phi_m$  магнитного поля тока  $I$  вычисляется по формуле:

$$\Phi_m = \int_d^{d+B} B ds = \int_d^{d+B} \frac{\mu_a I}{2\pi r} \cdot a dr = \frac{\mu_a I a}{2\pi} \int_d^{d+B} \frac{dr}{r} = \frac{\mu_a I a}{2\pi} \ln \frac{d+B}{d}.$$

Рассчитаем взаимную индуктивность между проводом и рамкой  $M$ . Взаимная индуктивность определяется по формуле:

$$M = \frac{\omega \Phi_m}{I} = \frac{\omega \mu_a a}{2\pi} \ln \frac{d+B}{d}.$$

Рассчитаем силу  $\vec{F}_1$ , действующую на рамку по формуле:

$$F_1 = \frac{\partial W}{\partial d},$$

где  $W$  - энергия магнитного поля токов  $I$  и  $I_1$ .

## Список литературы

- 1 Атабеков Г.И. ТОЭ линейные и электрические цепи (7-е изд.). – М.: Лань, 2009. – 592 с.
- 2 Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники.-М.: Гардарики, 2007. – 638 с.
- 3 Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л. Теоретические основы электротехники, т.2. - СПб.: Питер, 2003.-576 с.
- 4 Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л. Теоретические основы электротехники, т.3. - СПб.: Питер, 2003.-377 с.
- 5 Сборник задач по теоретическим основам электротехники/ Л.Д.Бессонов, И.Г.Демидова, М.Е.Заруди и др.-М.: Высшая школа, 2003.-528 с.
- 6 Прянишников В.А. ТОЭ: Курс лекций: Учебное пособие – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб., 2000. – 368 с.
- 7 Денисенко В.И., Зуслина Е.Х. ТОЭ.: Учебное пособие.- Алматы: АИЭС, 2000.-83 с.
- 8 Денисенко В.И., Светашев Г.М. ТОЭЗ.: Конспект лекций. – Алматы: АИЭС, 2007. – 90 с.

Любовь Павловна Болдырева  
Гульдана Кашкинбаевна Смагулова

ТЕОРИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ.

Методические указания и задания  
к выполнению расчетно-графических работ № 1,2,3 для специальности  
5В081200 – Энергообеспечение сельского хозяйства

Редактор Н.М. Голева  
Специалист по стандартизации Н.К. Молдабекова

Подписано в печать \_\_\_\_\_  
Тираж 50 экз.  
Объем 1,4 уч. - изд. л.

Формат 60x84 1/16  
Бумага типографская №1  
Заказ \_\_\_\_ . Цена 700 тенге.

Копировально-множительное бюро  
некоммерческого акционерного общества  
«Алматинский университет энергетики и связи»  
050013, Алматы, Байтурсынова 126.



# АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

## Кафедра теоретических основ электротехники

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебно-  
методической работе  
\_\_\_\_\_ С.В. Коньшин  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2015 г.

### ТЕОРИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Методические указания и задания по выполнению расчетно-  
графических работ № 1,2,3 для студентов специальности 5В081200 –  
Энергообеспечение сельского хозяйства

СОГЛАСОВАНО  
Начальник УМО  
\_\_\_\_\_ М.А.Мустафин  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2015 г.

Председатель МО и Э по УМК  
\_\_\_\_\_ Б.К.Курпенов  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2015 г.

Редактор  
\_\_\_\_\_

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2015 г.

Специалист по стандартизации  
\_\_\_\_\_  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2015 г.

Рассмотрено и одобрено на  
заседании кафедры ТОЭ  
Протокол № 5 от 28. 01. 2015 г.  
Зав. кафедрой ТОЭ  
\_\_\_\_\_ З.И. Жолдыбаева

Согласовано

И.о. зав. кафедрой ЭПП  
\_\_\_\_\_ М.В. Башкиров  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2015 г.

Зав. кафедрой ЭиАПУ  
\_\_\_\_\_ П.И. Сагитов

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2015 г.

Зав.кафедрой ЭССиС  
\_\_\_\_\_ С.Е. Соколов  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2015 г.

Составители:

\_\_\_\_\_ Л.П. Болдырева  
\_\_\_\_\_ Г.К. Смагулова

Алматы 2015