

Сборник лабораторных работ

по курсу

Методы расчета электрических и магнитных полей

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Назначение и структура программы Elcut

2. Исследование плунжерного электромагнита

3. Вытеснение переменного тока в шине прямоугольного сечения, уложенной в паз электрической машины

4. Исследование линейного асинхронного двигателя

5. Исследование двухканального МГД-насоса

6. Исследование установки сквозного индукционного нагрева

7. Исследование установки электрошлакового переплава

1. Назначение и структура программы Elcut

Программа Elcut предназначена для выполнения расчетов параметров различных полей (электромагнитных, тепловых и др.) с помощью метода конечных элементов. Elcut позволяет решать следующие типы задач (определять параметры следующих типов полей):

1. Магнитостатика (в этой задаче рассчитывается магнитное поле постоянных магнитов, а также проводников с постоянным током в среде с заданными магнитными свойствами);
2. Электростатика (в этой задаче рассчитывается электрическое поле зарядов, заданных значений потенциала в среде с заданными электрическими свойствами);
3. Растекание токов (в этой задаче рассчитывается распределение электрического потенциала и тока в системах проводников);
4. Магнитное поле переменных токов (расчет электрического и магнитного поля, возбужденного приложенными переменными синусоидальными токами или внешним переменным полем);
5. Температурное поле (расчет температурного поля в среде с заданной теплопроводностью и граничными условиями первого – четвертого рода в статике);
6. Нестационарная теплопередача (расчет динамики тепловых процессов);
7. Задача теории упругости.

Программа Elcut позволяет также производить связанные расчеты. Т.е. вычисленные параметры в одной задаче передать в другую задачу в качестве исходных данных. Для моделирования электротехнологических процессов наибольший интерес представляют связанные расчеты в следующих сочетаниях: магнитное поле переменных токов – температурное поле (нестационарная теплопередача); растекание токов – температурное поле (нестационарная теплопередача); магнитное поле переменных токов – задача теории упругости.

Расчеты производятся в двумерной плоской или осесимметричной постановках задач. В плоской постановке задачи геометрическая модель представляет собой сечение бесконечно протяженной в плоскость чертежа системы, в осесимметричной – образующую тела вращения. При этом ось симметрии располагается на линии с координатами $r = 0$.

При использовании Elcut, производится работа с разными типами документов: задачи, геометрические модели, библиотеки свойств материалов и др. Каждый документ открывается в своём отдельном окне внутри главного окна Elcut.

Одновременно можно открыть любое число любых окон. Переходя из окна в окно, производится переключение с одного документа на другой. Только одно окно в каждый момент времени является активным. Можно изменять содержание активного документа, используя позиции меню, расположенного

вверху главного окна Elcut. Содержание меню различно для документов разных типов.

Elcut использует следующие типы документов:

Описание задачи соответствует каждой физической задаче, решаемой при помощи Elcut. Этот документ содержит такие общие характеристики как тип задачи ("Электростатика", "Магнитостатика", "Теплопередача" и пр.), класс модели (плоская или осесимметричная) и пр., а также имена других документов, ассоциированных с данной задачей.

Геометрическая модель содержит полное описание геометрии задачи, метки различных её частей и расчетную сетку конечных элементов. Разные задачи могут использовать общую модель (это, в частности, полезно при решении связанных задач).¹

Физические свойства или Данные различаются для разных типов задач (Свойства для электростатики, свойства для вихревых токов и т.д.) Эти документы содержат значения свойств материалов, источников поля и граничных условий для разных помеченных геометрических объектов модели. Документ свойств может быть использован как библиотека материалов для различных задач.

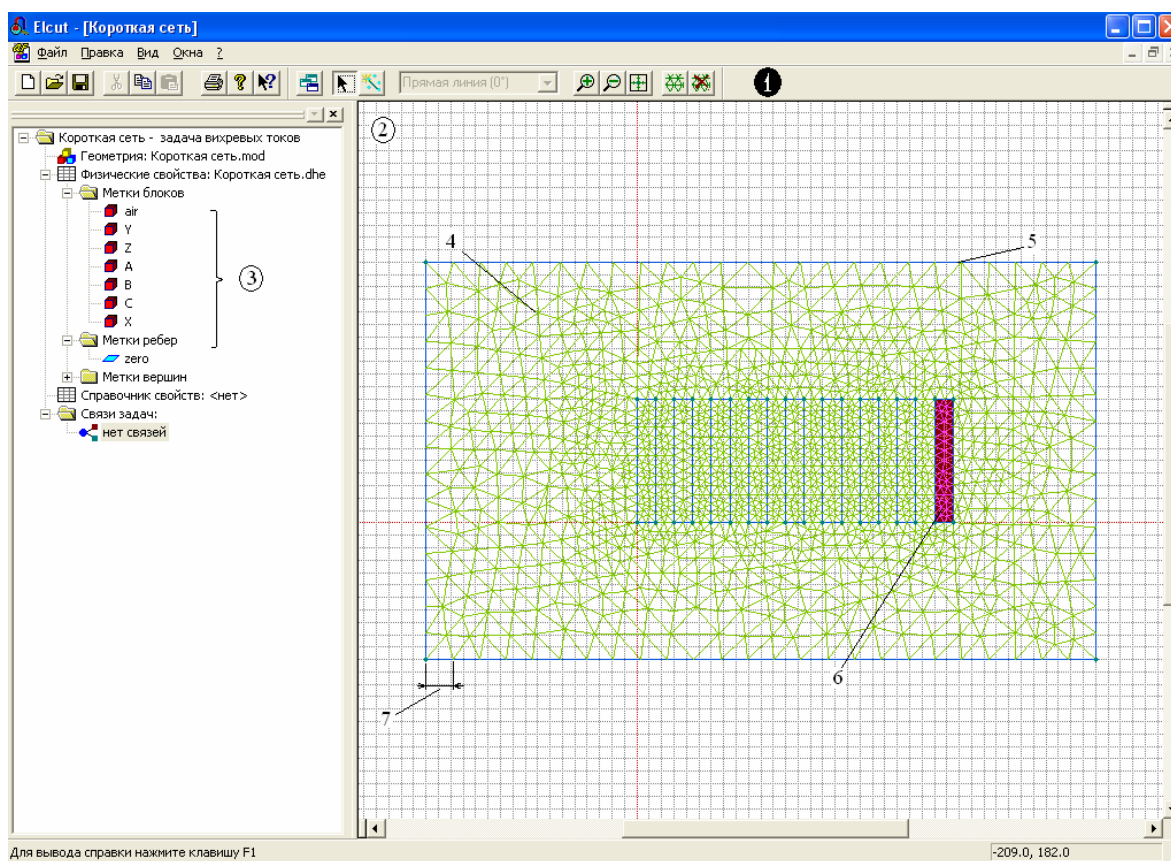


Рис. 1. Окно программы Elcut.

На рис. 1.1 показан интерфейс программы. Цифрами обозначено: 1 – панель инструментов, 2 – окно файла геометрической модели, 3 – окно задания

¹ На размер файла модели (*.mod) значительное влияние оказывает наличие построенной сетки. При переносе файлов модели с одного компьютера на другой сетку желательно удалить, тогда размер файла уменьшается во много раз.

свойств меток блоков, ребер и вершин, 4 – конечно-элементная сетка, 5 – ребро, 6 – выделенный блок, 7 – шаг дискретизации конечно-элементной сетки.

Последовательность выполнения расчетов в общем виде выглядит следующим образом: 1) создание файлов задачи, свойств и геометрии с помощью мастера (рис. 2); 2) создание модели; 3) создание меток блоков, ребер и вершин (если требуется) геометрической модели; 4) построение конечно-элементной сетки, 5) решение задачи и анализ результатов решения.

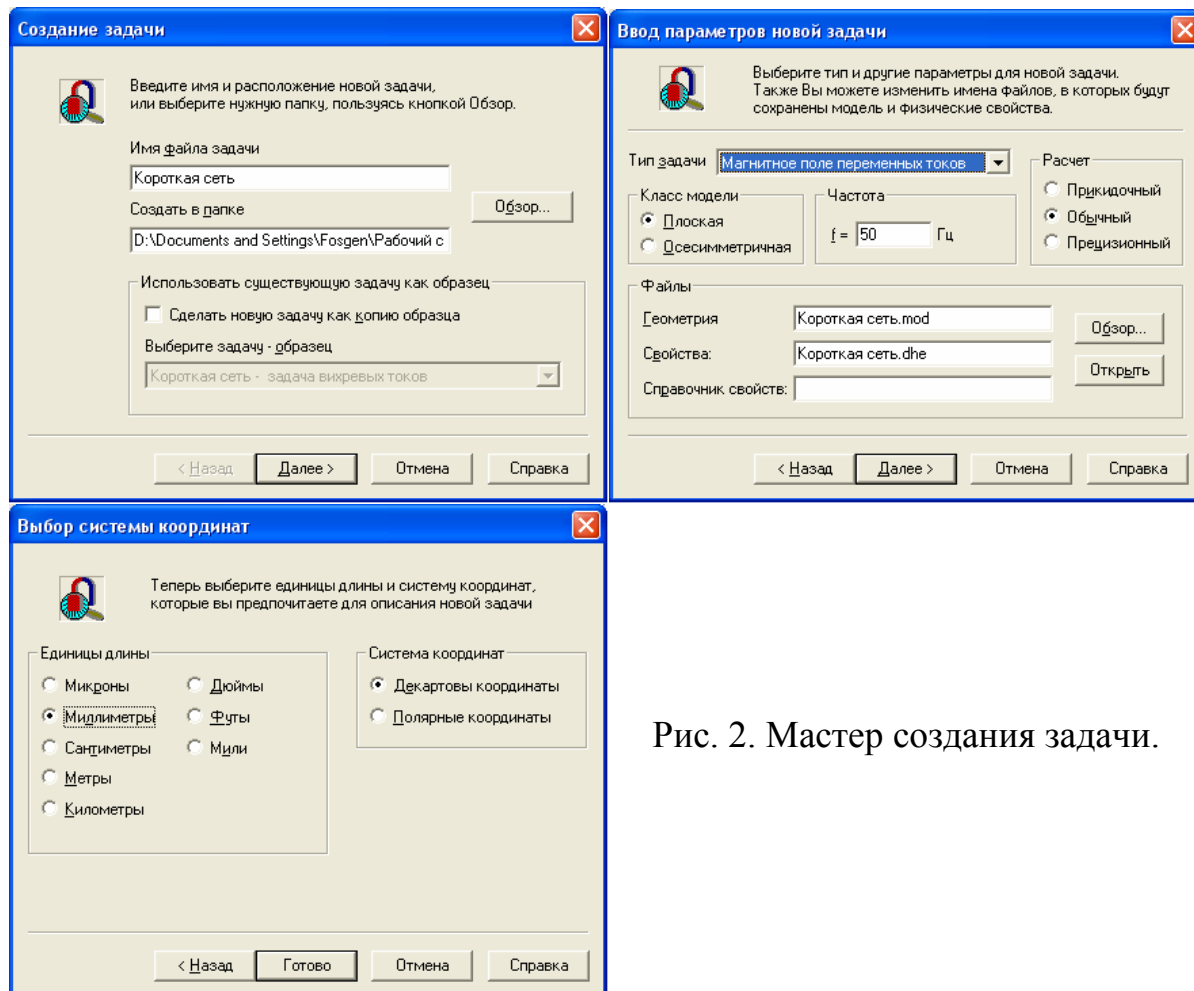


Рис. 2. Мастер создания задачи.

2. Исследование плунжерного электромагнита

Задание: Рассчитать магнитное поле в устройстве и тяговое усилие, приложенное к якорю при различных положениях якоря в диапазоне зазоров между якорем и сердечником от 5 до 0,5 см с шагом 0,5 см. Построить зависимость усилия от положения электромагнита при питании катушки постоянным и переменным токами. Произвести анализ работы устройства при различных вариантах питания катушки электромагнита.

Объект: Соленоидальный плунжерный электромагнит (рис. 2.1) состоящий из обмотки, окруженной ферромагнитным сердечником и якоря в виде плунжера.

Тип задачи: Магнитостатика, магнитное поле переменных токов.

Класс задачи: Осесимметричная

Геометрия:

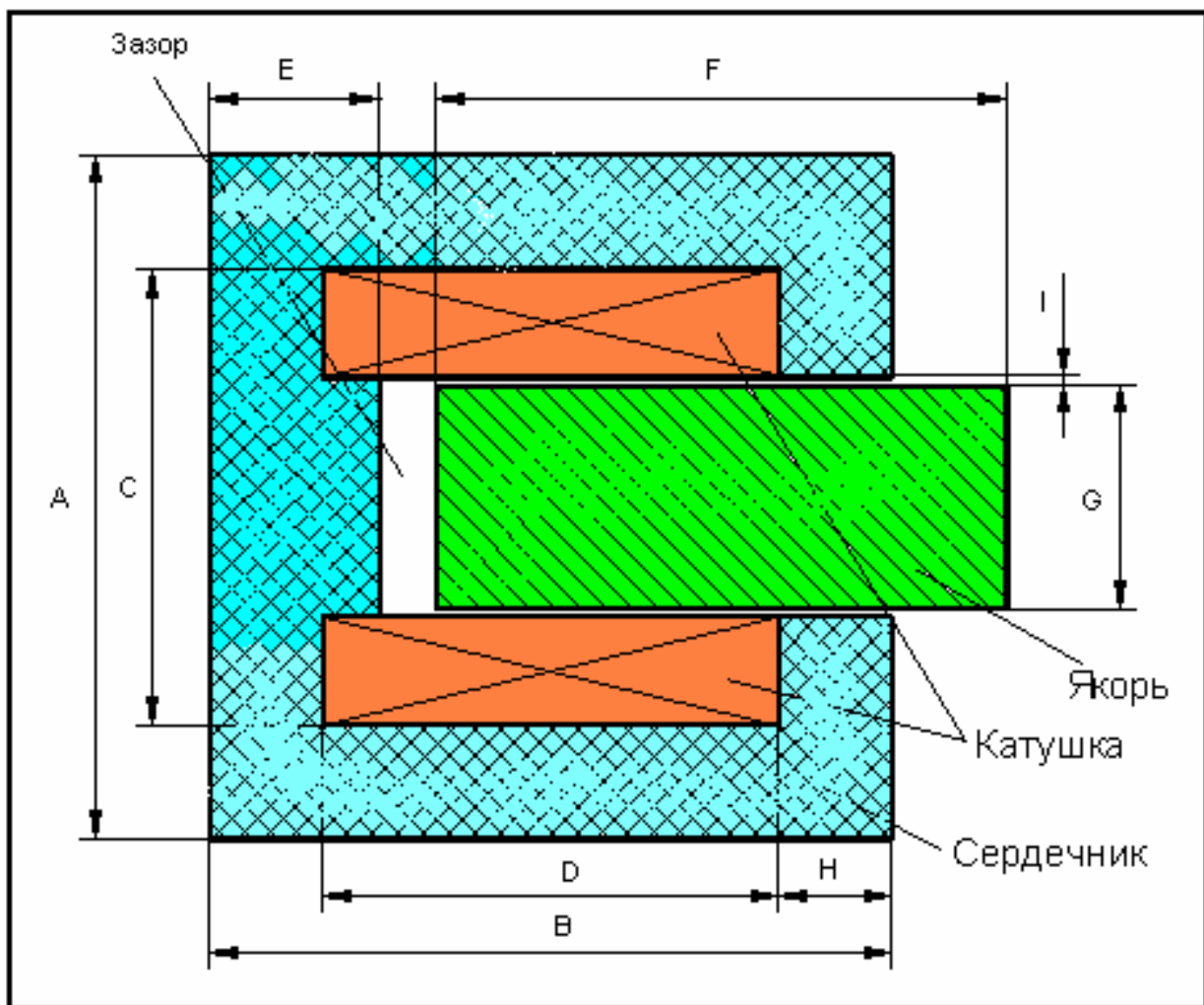


Рис. 2.1. Эскиз электромагнита

Таблица 2.1

№ варианта	Размеры, см								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	26	24	18	16	6	22	10	4	0,1
2	24	26	16	18	4	20	8	6	0,2
3	28	26	20	18	6	22	10	4	0,3
4	25	27	17	20	4	20	8	4	0,4
5	26	25	18	16	6	22	10	4	0,1
6	24	27	16	18	4	20	8	6	0,2
7	28	28	20	18	6	22	10	4	0,3
8	25	29	17	20	4	20	8	4	0,4
9	27	23	18	16	6	22	10	4	0,1
10	23	27	14	18	4	20	8	6	0,2
11	29	25	20	18	6	22	10	4	0,3
12	22	26	17	20	4	20	8	4	0,4
13	30	25	22	16	6	22	10	4	0,1
14	24	27	16	18	4	20	8	6	0,2
15	25	25	18	18	6	22	10	4	0,3
16	22	22	15	16	4	20	8	4	0,4

Исходные данные:

Относительная магнитная проницаемость воздуха и катушки $\mu = 1$;

Плотность тока в катушке $J = 1100\ 000\ \text{А/м}^2$;

Характеристика намагничивания для материала сердечника и якоря:

Таблица 2.2

H, А/м	460	640	720	890	1280	1900	3400	6000
B, Тл	0.80	0.95	1.00	1.10	1.25	1.40	1.55	1.65

При питании катушки переменным током (задача магнитного поля переменных токов) магнитные свойства блоков можно представить только постоянными величинами, поэтому расчет производим в два этапа:

На первом этапе задаемся приблизительной величиной магнитной проницаемости (якоря - $\mu_{\text{я}} = 1200$, сердечника - $\mu_{\text{с}} = 2000$), производим расчет и определяем при помощи интегрального калькулятор среднюю величину напряженности на границах 1-4 (рис. 2.2).

На втором этапе по кривой намагничивания (таблица 2.2) определяем средние значения относительной магнитной проницаемости в блоках А, В, С, D и Е. В этих блоках удобно будет задать различное значение магнитной проницаемости по направлениям.

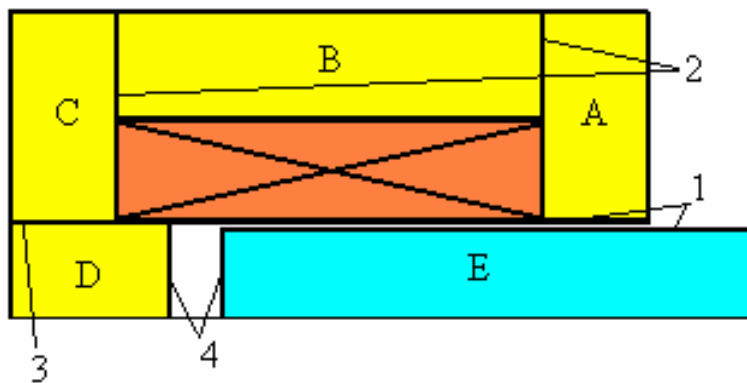


Рис. 2.2. Расположение границ блоков с различной магнитной проницаемостью

Проводимостью катушки (вытеснением тока из проводников) пренебрегаем, плотность тока в катушке составляет ту же величину, что и при питании постоянным током.

Примечания:

1. Магнитная система соленоида полностью замкнута, поэтому внешнюю границу модели можно поместить относительно близко к сердечнику соленоида. Более протяженный слой воздуха включается в модель со стороны якоря, поскольку в этой зоне нельзя пренебречь выпучиванием поля.

2. Для корректного решения задачи магнитного поля переменных токов необходимо точно разбить область в зазоре между боковыми поверхностями якоря и сердечника. Для этого зададимся шагом дискретизации на ребре боковой поверхности якоря, равным 1 мм. В некоторых случаях, при неудовлетворительных результатах расчета (например, при появлении "узлов" поля) приемлемую точность расчета можно получить при задании относительно крупной равномерной сетки. В таком случае следует задать шаг дискретизации сетки конечных элементов равным 5 мм во всей расчетной области.

В отчете требуется отразить:

1. Цель работы
2. Исходные данные и геометрическую модель
3. Таблицу значений магнитной проницаемости и средней напряженности магнитного поля в блоках "сердечника" и "якоря" электромагнита.
3. Полученные зависимости усилий от положения "якоря".
4. График разности усилий при различных вариантах питания катушки от зазора.
5. Анализ полученных данных, выводы о способах задания в Elcut участков с различной магнитной проницаемостью в насыщенных магнитопроводах, а также о величине токов «втягивания» и «удержания» якоря электромагнита.

3. Вытеснение переменного тока в шине прямоугольного сечения, уложенной в паз электрической машины

Задание: Рассчитать картину распределения тока в пазу электрической машины для одного, двух и десяти проводников в пазу. Построить график распределения плотности тока по сечению проводников в пазу (в качестве начала системы координат принять дно паза).

Программа исследования:

1. Провести расчеты, указанные в задании для частот (5, 50, 100, 250 и 500 Гц), построить графики распределения плотности тока для каждого случая в одних и тех же осях. На каждой из частот как для одно-, так и для двухвитковой катушки определяем с помощью мастера импеданса и мастера индуктивностей активное сопротивление и индуктивность проводников катушки.

2. Расчет производим на частоте 50 Гц. Разобьем катушку на рис. 3.1 на N витков одинакового сечения (проводники представляют собой ленту толщиной 1мм). Определить полное комплексное сопротивление много- и одновитковой катушек при одинаковой магнитодвижущей силе обеих катушек.

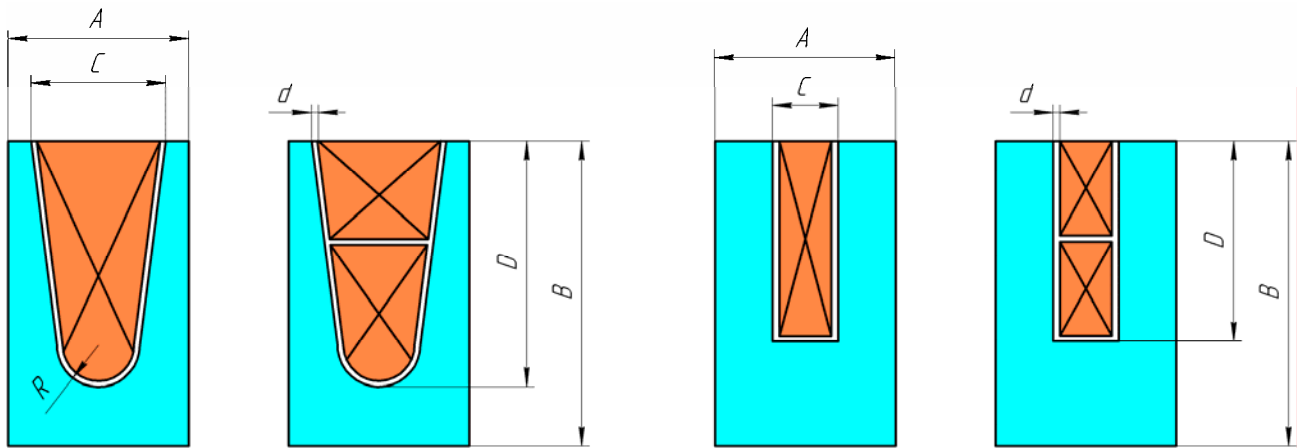
Тип задачи: Гармоническое электромагнитное поле. Среды линейные.

Класс задачи: Плоская.

Геометрия:

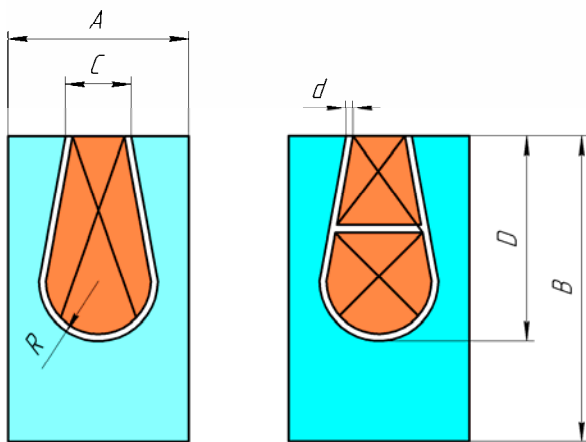
Таблица 3.1

№ варианта	Размеры, мм						Тип паза
	A	B	C	D	d	R	
1	40	90	30	60	1	14	1
2	30	110	14	70	1	-	2
3	50	120	16	80	1	32	3
4	45	100	35	55	1	16	1
5	30	90	10	60	1	-	2
6	40	110	18	70	1	36	3
7	50	100	40	65	1	20	1
8	45	120	20	80	1	-	2
9	35	90	30	60	1	14	1
10	30	100	12	70	1	-	2
11	50	130	14	80	1	32	3
12	40	100	33	55	1	16	1
13	35	95	15	60	1	-	2
14	30	100	16	60	1	36	3
15	55	120	40	70	1	20	1
16	40	120	22	85	1	-	2



Тип паза №1

Тип паза №2



Тип паза №3

Рис. 3.1 Эскиз моделируемых пазов

При расчете удобно выполнить моделирование только одной половины задачи (например, области, находящейся справа от границы следа плоскости антисимметрии).

Исходные данные:

Относительная магнитная проницаемость стали $\mu = 100$.

Относительная магнитная проницаемость медной шины и воздуха $\mu = 1$.

Удельная электропроводность меди $\sigma = 57000000 \text{ См/м}$.

Сталь паза шихтованная, поэтому её электропроводность вдоль проводника равна $\sigma = 0$.

Суммарный ток в проводнике $I = 600 \text{ А}$. Частота тока $f = 50 \text{ Гц}$. При наличии в пазу двух шин ток в них течет одного направления (в каждой шине по 300 А).

Граничные условия:

На границе, являющейся следом плоскости антисимметрии устанавливаем $H_t = 0$. Граница с нулевым векторным магнитным потенциалом (граница области расчета $A = 0$) охватывает область, ограниченную снизу

ярмом, а по бокам – зубцами. Для учета пазового рассеяния верхнюю границу области расчета поднимем над поверхностью зубцов на 20 мм.

Примечания.

1. При разделении задачи на две половинки по следу плоскости антисимметрии, токи, задаваемые в проводниках катушки, следует делить на два. Но при определении индуктивности катушек следует в мастере индуктивности указывать действительное значение тока.

2. Проводникам в катушке присваиваем одну метку с указанием последовательного соединения проводников, которым присвоена данная метка.

3. Для наглядности и удобства анализа результатов, полученные значения распределения плотности тока в проводниках удобно представить в виде семейства кривых, построенные в одном масштабе и в одних осях. Также полученные значения активного сопротивления и индуктивности удобно представить в виде графиков в функции частоты в одних осях для одно- и двухвитковой катушек.

4. Графики вычисленных величин удобно строить в специальных программах, таких например, как Microsoft Graph. Для построения графиков в одних осях необходимо произвести сначала экспорт числовых данных из таблицы в программе Elcut в Excel или Mathcad. Эта операция может быть выполнена с использованием буфера обмена. При отображении информации в виде таблицы рассчитанных значений вдоль какого-либо контура, воспользуемся командой Меню – Вид – Строки (Столбцы) и настроим количество отображаемых значений в строках и столбцах таблицы. С помощью контекстного меню последовательно выбираем команды «Выделить все» и «Копировать». Открываем программу Excel и вызываем команду «Вставить».

В отчете отразить:

1. Цель работы и условия задачи, геометрическую модель.
2. Рассчитанные:
 - а) графики распределения плотности тока в проводниках для каждой из частот и для каждого из вариантов укладки обмотки;
 - б) зависимость активного сопротивления и индуктивности от частоты.
3. Выводы о характере распределения плотности тока в проводниках и сопротивлении катушки с переменным током в ферромагнитном пазу.

4. Исследование линейного асинхронного двигателя

Задание: Рассчитать картину электромагнитного поля. Построить графики распределения тока во вторичном элементе и индукции в воздушном зазоре ЛАД. Построить зависимость тягового усилия ЛАД от зазора между индуктором и вторичным элементом. Оценить потери в двигателе при неподвижном вторичном элементе.

Объект: Односторонний линейный асинхронный двигатель (рис. 4.1, 4.2).

Тип задачи: Магнитное поле переменных токов.

Класс задачи: Плоская.

Геометрия:

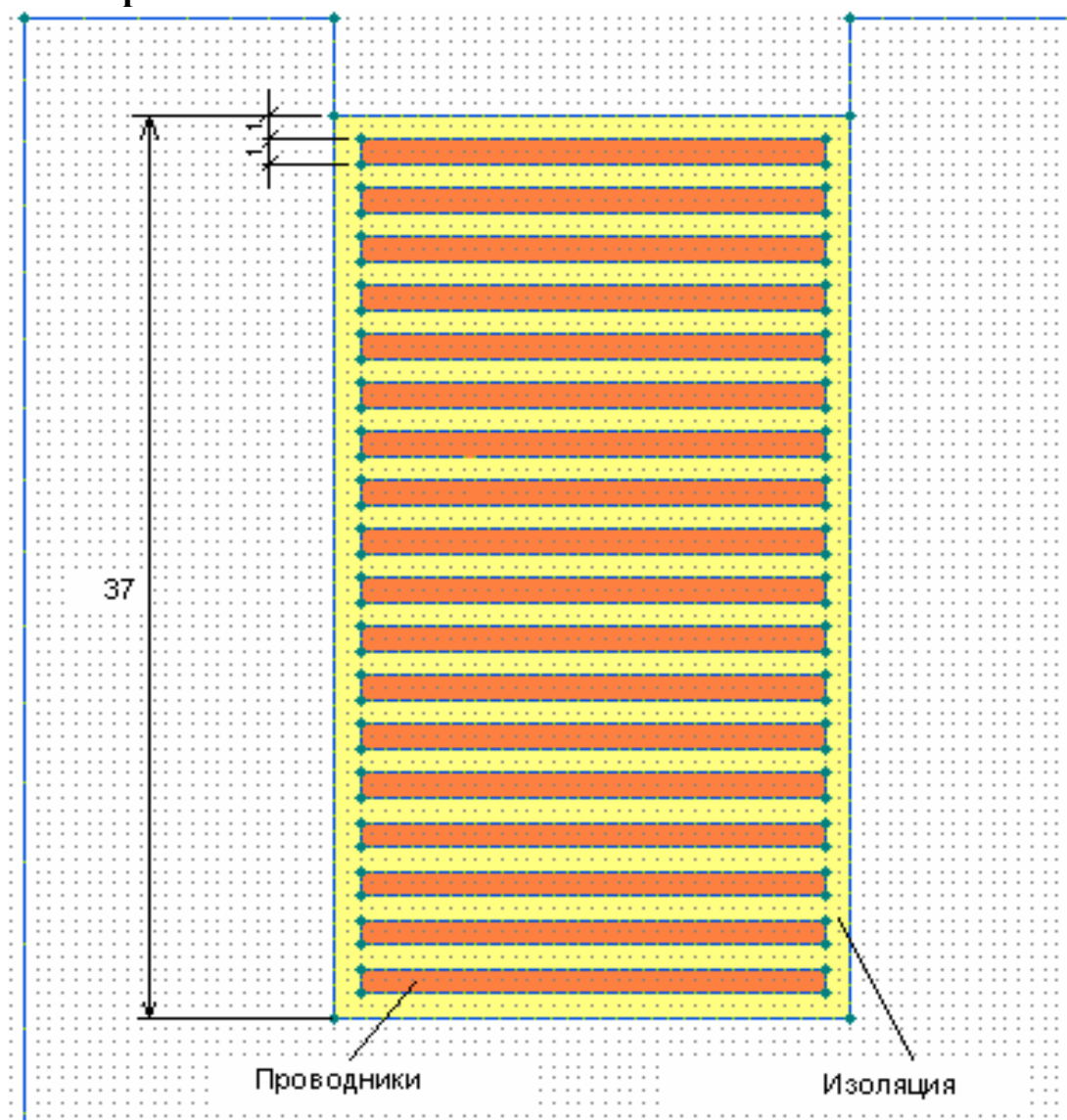


Рис. 4.1. Структура обмотки в пазу электрической машины для варианта №1

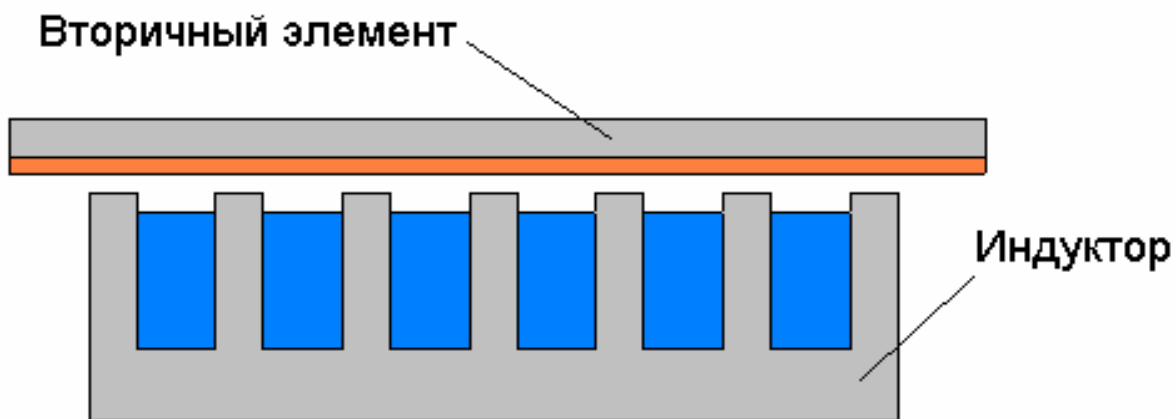


Рис. 4.2. Расположение индуктора и вторичного элемента

Таблица 4.1

№	Размеры, мм								Число витков в пазу	Схема обмотки
	Зубцовое деление	Ширина паза	Глубина паза	Толщина проводника	Толщина ярма индуктора	Суммарное действующее значение МДС в катушке	Толщина проводящего покрытия ВЭ	Толщина сердечника ВЭ		
1	32	20	41	1	19	2610	5	10	18	AZBXCZY
2	34	22	43	1	22	2700	7	12	18	AXBYCZ
3	30	18	40	1	20	2520	4	8	18	AZBAZB
4	36	24	44	1	26	2880	5	10	18	ABCABC
5	38	26	42	2	28	2970	4	10	9	AZBXCZY
6	36	22	40	2	24	2790	5	8	9	AXBYCZ
7	34	24	41	2	26	2700	7	12	9	AZBAZB
8	32	22	43	2	22	2610	4	10	9	ABCABC
9	30	22	41	1	19	2610	5	10	18	AZBXCZY
10	33	20	43	1	22	2700	7	12	18	AXBYCZ
11	34	18	40	1	20	2520	4	8	18	AZBAZB
12	35	23	44	1	26	2880	5	10	18	ABCABC
13	37	25	42	2	28	2970	4	10	9	AZBXCZY
14	35	23	40	2	24	2790	5	8	9	AXBYCZ
15	31	19	41	2	26	2700	7	12	9	AZBAZB
16	36	20	43	2	22	2610	4	10	9	ABCABC

Исходные данные:

Толщина витковой изоляции 0,5 мм.

Толщина пазовой изоляции 1мм.

Воздушный зазор 5-25 мм.

Шаг при построении графиков 5 мм.

Относительная магнитная проницаемость стали индуктора $\mu = 1000$.

Относительная магнитная проницаемость стали ВЭ $\mu = 10$.

Относительная магнитная проницаемость проводников индуктора, проводящего покрытия ВЭ и воздуха $\mu = 1$.

Удельная электропроводность покрытия ВЭ $\sigma = 33\,000\,000$ См/м.

Удельная электропроводность проводников обмотки $\sigma = 56000000$ См/м.

Электропроводность сердечников индуктора и ВЭ $\sigma = 0$ См/м.

Частота тока $f = 50$ Гц.

Примечания:

1. Фаза тока в каждом пазу определяется схемой обмотки. Например, для варианта №2 токи в пазах будут иметь начальные фазы: 0° (А); 180° (Х); -120° (В); 30° (У); 120° (С); -30° (Z).

2. Проводникам в катушке присваиваем одну метку с указанием последовательного соединения проводников, которым присвоена данная метка.

3. Удовлетворительная точность расчета усилия во вторичном элементе будет получена, если определять лишь составляющие силы Лоренца (силы Ампера) в высокопроводящем слое вторичного элемента. При определении усилий через полную ponderomotorную силу величина ошибки увеличивается. Поэтому при определении усилий в качестве контура интегрирования выделяем лишь высокопроводящий слой и определяем силу Лоренца, действующую на этот контур.

В отчете отразить:

1. Цель работы и условия задачи, геометрическую модель.

2. Рассчитанные:

- а) картину поля для одного из положений вторичного элемента;
- б) значения мощности тепловых потерь в индукторе и вторичном элементе;
- в) графики распределения тока во вторичном элементе и индукции в воздушном зазоре ЛАД для одного из положений вторичного элемента;
- г) зависимость составляющих усилия во вторичном элементе от зазора между индуктором и вторичным элементом.

3. Выводы о влиянии воздушного зазора на характер и величину усилий, возникающих во вторичном элементе линейного асинхронного двигателя.

5. Исследование двухканального МГД-насоса

Задание: Рассчитать картину электромагнитного поля. Построить графики распределения тока во вторичном элементе и индукции в воздушном зазоре насоса. Рассчитать тяговое усилие при различных схемах включения обмотки. Оценить потери в статоре при неподвижном вторичном элементе. Эскиз устройства показан на рис. 5.1.

Объект: МГД-насос с барабанной обмоткой.

Тип задачи: Магнитное поле переменных токов.

Класс задачи: Плоская.

Геометрия:

Таблица 5.1

№	Размеры, мм								Число витков в пазу	Схема обмотки
	Зубцовое деление	Ширина паза	Глубина паза	Толщина проводника	Толщина ярма индуктора	Суммарное действующее значение МДС в катушке	Толщина проводящего покрытия ВЭ	Толщина сердечника ВЭ		
1	32	20	41	1	19	2610	5	10	18	AZBXCY
2	34	22	43	1	22	2700	7	12	18	AXBYCZ
3	30	18	40	1	20	2520	4	8	18	AZBAZB
4	36	24	44	1	26	2880	5	10	18	ABCABC
5	38	26	42	2	28	2970	4	10	9	AZBXCY
6	36	22	40	2	24	2790	5	8	9	AXBYCZ
7	34	24	41	2	26	2700	7	12	9	AZBAZB
8	32	22	43	2	22	2610	4	10	9	ABCABC
9	30	22	41	1	19	2610	5	10	18	AZBXCY
10	33	20	43	1	22	2700	7	12	18	AXBYCZ
11	34	18	40	1	20	2520	4	8	18	AZBAZB
12	35	23	44	1	26	2880	5	10	18	ABCABC
13	37	25	42	2	28	2970	4	10	9	AZBXCY
14	35	23	40	2	24	2790	5	8	9	AXBYCZ
15	31	19	41	2	26	2700	7	12	9	AZBAZB
16	36	20	43	2	22	2610	4	10	9	ABCABC

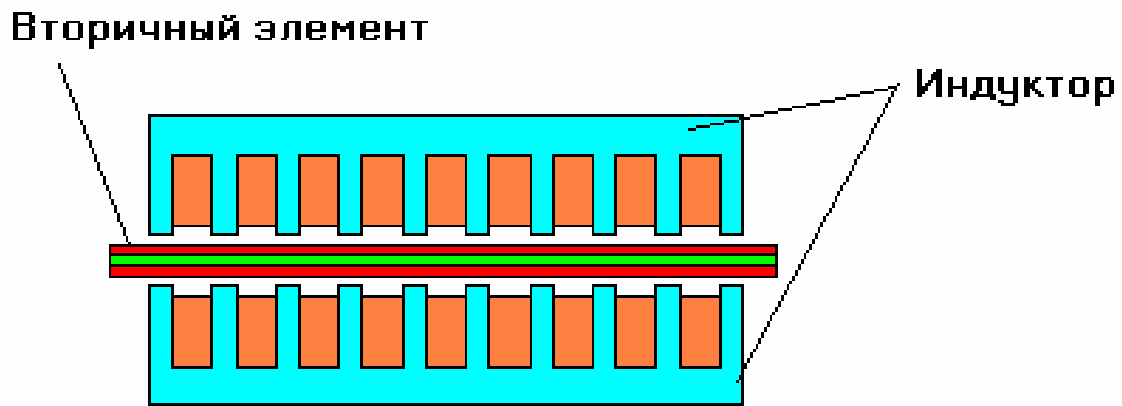


Рис. 5.1. Расположение индуктора и вторичного элемента

Исходные данные:

Фаза тока в каждом пазу определяется схемой обмотки.

Схемы обмотки: AZBXC_YAZB, ABCABCABC, AAABB_BCCC, AA_AZZZ_BBB, AXBYCZAXB, AZBAZBAZB.

Примечания:

1. Поскольку насос имеет барабанную обмотку, токи в проводниках в верхней и нижней частях модели имеют противоположное направление.

2. Для увеличения скорости расчетов, при вычислениях зададимся током в проводниках индуктора лишь один раз – для определения мощности тепловых потерь в обмотках. Во всех других случаях будем задаваться плотностью тока, предполагая, что поверхностный эффект в проводниках индуктора выражен слабо и им можно пренебречь.

В отчете отразить:

1. Цель работы и условия задачи, геометрическую модель.

2. Рассчитанные:

а) картину поля для ОДНОГО из положений вторичного элемента;

б) значения мощности тепловых потерь в индукторе и вторичном элементе;

в) графики распределения тока во вторичном элементе и индукции в воздушном зазоре насоса. Для удобства анализа графики следует построить в одних осях в виде семейств кривых для плотности тока во вторичном элементе и индукции в зазоре соответственно;

г) рассчитанные усилия во вторичном элементе при различных схемах включения обмотки.

3. В выводах провести оценку влияния схемы включения обмоток на величину тягового усилия. Определить схему включения, при которой тяговое усилие будет максимальным.

6. Исследование установки сквозного индукционного нагрева

Задание: Рассчитать картину электромагнитного поля. Построить графики распределения тока в нагреваемой заготовке. Рассчитать время нагрева заготовки в поперечном магнитном поле до 500 °С.

Объект: Установка сквозного индукционного нагрева.

Тип задачи: Связанная задача магнитного поля переменных токов и нестационарной теплопередачи.

Класс задачи: Плоская.

Геометрия:

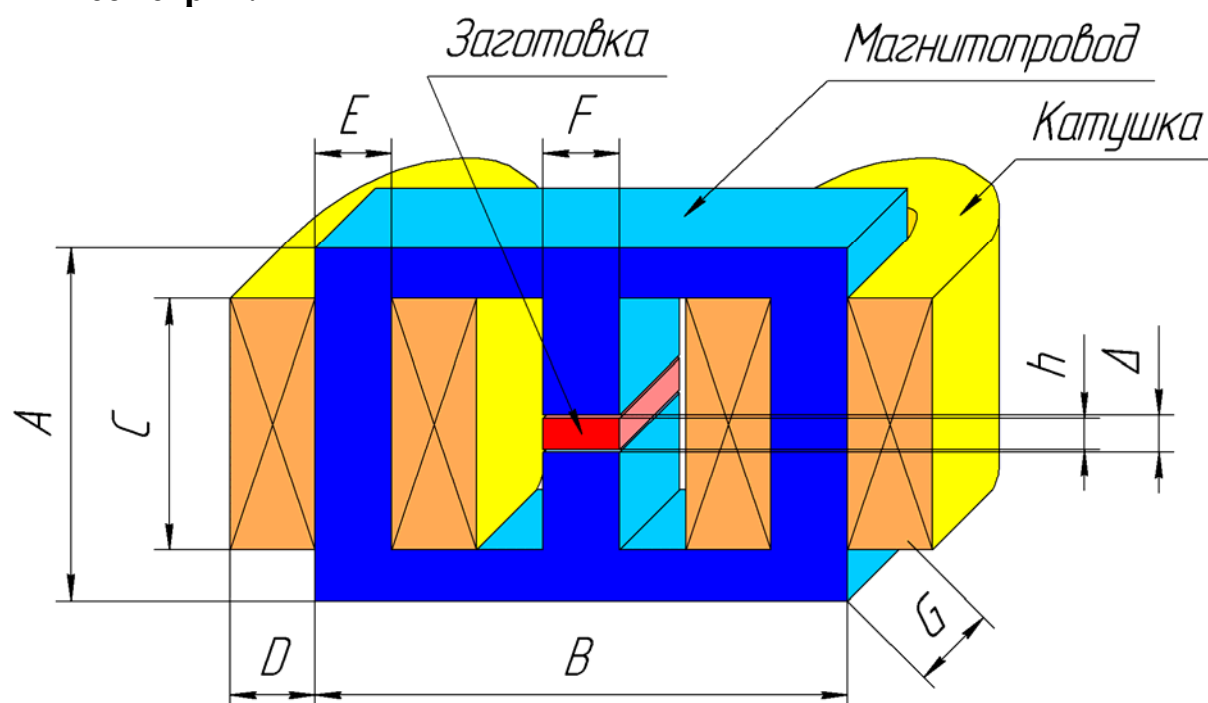


Рис. 6.1. Эскиз установки

Таблица 6.1

№	Размеры, см								
	A	B	C	D	E	F	G	h	Δ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	26	36	16	6	6	8	8	6	10
2	24	34	16	6	6	6	6	4	6
3	22	32	14	8	4	6	6	4	6
4	20	30	12	6	4	6	6	4	6
5	18	28	12	6	4	6	4	2	4
6	27	35	17	5	7	9	9	7	9
7	25	35	17	7	7	7	7	5	7
8	23	30	15	6	5	6	8	5	8
9	21	32	13	6	5	8	8	4	7
10	19	27	12	4	5	7	7	2	4

Таблица 6.1(продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	18	36	12	8	6	6	8	8	10
12	27	34	17	6	5	8	6	7	6
13	25	32	17	7	4	6	6	5	6
14	23	28	15	5	4	6	6	5	6
15	21	28	13	5	4	8	4	4	4
16	19	35	12	5	7	7	9	2	9

Исходные данные:

Относительная магнитная проницаемость стали индуктора $\mu = 100$.

Относительная магнитная проницаемость проводников индуктора, заготовки и воздуха $\mu = 1$.

Удельная электропроводность заготовки $\sigma = 33\,000\,000$ См/м.

Удельная теплопроводность заготовки $\lambda = 209$ Вт/м·°К

Удельная теплоемкость заготовки $C = 0,246 + 0,000078 \cdot t$ ккал/кг·°С.

Плотность заготовки $\rho = 2700$ кг/м³.

Удельная электропроводность проводников обмотки $\sigma = 0$ См/м.

Электропроводность сердечников индуктора и ВЭ $\sigma = 0$ См/м.

Ток в катушках $I = 10000$ А.

Частота тока $f = 50$ Гц.

Примечания.

1. Все интегральные параметры (включая мощность тепловыделения) рассчитываются на 1 метр длины модели вдоль направления перпендикулярного плоскости чертежа!

2. Для задачи нестационарной теплопередачи необходимо задаться начальной температурой. Для этого проводим расчет температурного поля с мощностью тепловыделения во всех блоках модели, равной нулю, и заданным значением температуры (293 °К) на всех ребрах с метками. Связываем полученную задачу с задачей нестационарной теплопередачи на первом шаге.

3. Для сокращения времени расчетов в задаче нестационарного теплообмена исключаем из расчетов теплообмен внешней поверхности нагреваемого металла с окружающей средой, так как нагрев происходит относительно быстро и потери во внешнюю среду незначительны. Для того чтобы исключить индуктор из расчетов поля температур, на границах индуктора присваиваем ребрам метки с граничным условием заданной температуры. В метке блока с медью индуктора задаем нулевым значением теплоемкости и плотности. Воздух, окружающий нагреваемую заготовку и индуктор, также желательно исключить из расчетов поля температур при нестационарном теплообмене. Для этого на внешней границе металла задаем свойства метки ребер, соответствующие граничному условию нулевого теплового потока через границу. В этом случае теплообмен между поверхностью металла и воздухом будет отсутствовать. Тем не менее, хотя "воздух" и "индуктор" исключены из тепловых расчетов в свойствах меток,

соответствующих этим блокам, необходимо указать конечное значение теплопроводности. Значение в принципе может быть любым (рекомендуется $\lambda=1$). В этом случае в "воздухе" за ребром с присвоенным граничным условием нулевого теплового потока будет наблюдаться некоторое распределение температур. Здесь следует понимать, что введенное граничное условие создает условия для формирования картины температур в блоке с неизвестными температурами и заданной величиной теплопроводности (в данном случае блок с меткой "воздух") в соответствии с введенным граничным условием. Иными словами поле температур в "воздухе", не отражая реальной картины распределения, подстраивается к рассчитанной с наибольшей точностью реальной картине температур в слоях металла. Поскольку в связанных расчетах необходимо пользоваться одним файлом модели (*.mod), метки с введенными граничными условиями нулевого теплового потока и заданной температуры должны присутствовать под теми же именами и в электромагнитном расчете, и для них также должны быть записаны граничные условия. В данном случае уместно задать однородное граничное условие Неймана ($H_t=0$), которое является естественным для границ блоков без метки.

$$3. 1 \text{ Дж} = 2,39 \cdot 10^{-4} \text{ ккал.}$$

В отчете отразить:

1. Цель работы и условия задачи, геометрическую модель.

2. Рассчитанные:

- а) картину электромагнитного поля;
- б) значение мощности тепловых потерь в заготовке;
- в) графики распределения плотности тока в заготовке и индукции в воздушном зазоре;
- г) рассчитанное время нагрева заготовки;
- д) зависимость средней температуры заготовки от времени.

3. Выводы по результатам исследования работы индукционной установки сквозного нагрева.

7. Исследование установки электрошлакового переплава

Задание: Рассчитать картину распределения плотности тока в расплавленном шлаке. Построить векторный график плотности тока в установке. Рассчитать поле температур в установке при вычисленном значении мощности тепловыделения. Подобрать величину напряжения между электродом и кристаллизатором, обеспечивающим заданную среднюю температуру шлака.

Объект: Установка электрошлакового переплава.

Тип задачи: Связанная задача растекания токов и задачи температурного поля.

Класс задачи: Осесимметричная.

Геометрия:

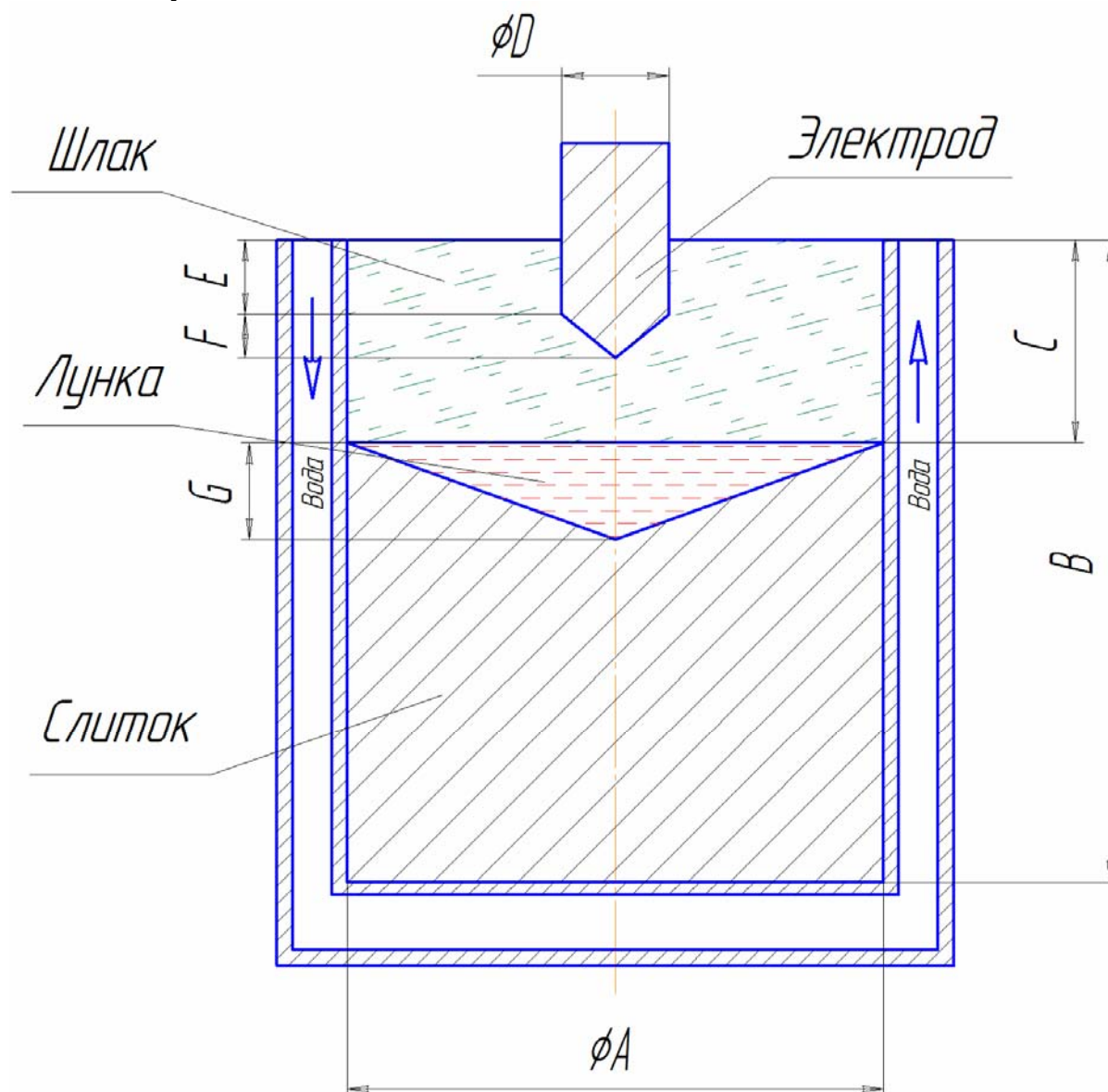


Рис. 7.1. Эскиз установки

Таблица 7.1

№	Размеры, мм						
	A	B	C	D	E	F	G
1	500	600	190	100	70	40	90
2	600	500	180	150	50	40	100
3	400	400	200	200	100	50	150
4	300	500	150	150	50	30	130
5	350	450	200	170	100	50	100
6	450	500	220	250	80	40	90
7	550	650	150	300	70	50	110
8	500	400	190	200	70	50	90
9	600	500	180	150	50	30	100
10	400	450	200	170	100	50	150
11	300	500	150	100	50	40	130
12	350	650	200	250	100	50	100
13	350	400	200	200	100	50	100
14	450	500	220	150	80	30	90
15	550	450	150	170	70	50	110
16	500	500	190	250	70	40	90

Исходные данные:

1. Шлак:

- а) Удельное сопротивление $\rho = 0,0015 \text{ Ом}\cdot\text{м}$;
- б) Эффективная теплопроводность (с учетом массопереноса)
 $\lambda = 150 \text{ Вт/м}^\circ\text{К}$

2. Лунка расплавленного металла:

- а) Удельное сопротивление $\rho = 10^{-6} \text{ Ом}\cdot\text{м}$;
- б) Теплопроводность $\lambda = 30 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{К}$

3. Слиток:

- а) Удельное сопротивление $\rho = 1,1 \cdot 10^{-7} \text{ Ом}\cdot\text{м}$;
- б) Теплопроводность $\lambda = 51,5 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{К}$

Коэффициент теплоотдачи с поверхности кристаллизатора

$$\alpha = 3000 \text{ Вт/м}^2\cdot^\circ\text{К}$$

Средняя (по объему) температура шлака $T \approx 1550 \text{ }^\circ\text{С}$.

В отчете отразить:

1. Цель работы и условия задачи, геометрическую модель.

2. Рассчитанные:

- а) картину распределения плотности тока в установке;
- б) значения мощности тепловыделения в шлаке и слитке;
- в) графики распределения плотности тока по радиусу (от поверхности электрода к стенке кристаллизатора) и по оси (от конца электрода к дну кристаллизатора);
- г) подобранное значение напряжения;

д) графики распределения температур по радиусу (от поверхности электрода к стенке кристаллизатора) и по оси (от конца электрода к дну кристаллизатора).

3. Выводы о требуемой мощности установки и примерной скорости процесса переплава стальной заготовки.