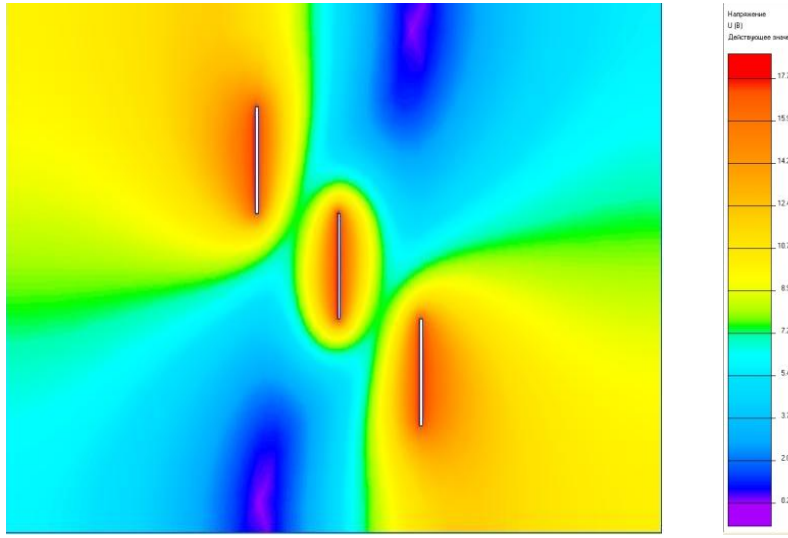
ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ

КОМПЬЮТЕРНЫЙ РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ И ПОЛЕЙ

Методические указания

для выполнения лабораторных работ



Новосибирск 2021

УКД

Кафедра техносферной безопасности и электротехнологии

Составители: С.А. Никонов, зав. лабораториями, ст. преподаватель

Д.С. Болотов, преподаватель

Рецензент: И.С. Тырышкин, к.т.н. доцент

Компьютерный расчет электрических цепей и полей: метод. указания для выполнения лабораторных работ / Новосиб. гос. агр. ун-т; Инженер. ин-т; сост.: С.А. Никонов, Д.С. Болотов – Новосибирск: Изд-во НГАУ, 2021. – 26 с.

Методические указания содержат методику выполнения лабораторных работ и список рекомендованной литературы изучаемой по данной дисциплине.

Предназначены для студентов очной и заочной форм обучения по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия (профиль Электрооборудование и электротехнологии).

Утверждены и рекомендованы к изданию учебно-методическим советом Инженерного института (протокол №5 от 24 декабря 2020 г.).

© Новосибирский государственный аграрный университет, 2021

Содержание

Введение	4
1. Лабораторно-практическая работа № 1	5
2. Лабораторно-практическая работа № 2	10
3. Лабораторно-практическая работа № 3	11
4. Лабораторно-практическая работа № 4	13
5. Лабораторно-практическая работа № 5	16
6. Лабораторно-практическая работа № 6	17
7. Лабораторно-практическая работа № 7	19
Список рекомендованной литературы	21

Введение

Современная техногенная цивилизация предполагает применение электротехнических устройств и оборудования почти во всех сферах быта и производства. Негативным фактором этого является то, что электрическое и магнитное поле окружает нас повсюду. Ведущими учёными в области медицины установлен и экспериментально подтверждён факт негативного влияния предельно допустимых доз электромагнитных полей на человека, поэтому проектирование современных электротехнических устройств необходимо выполнять с учётом создаваемых ими электромагнитных полей. Процедура анализа электромагнитного поля электротехнической установки может выполняться как расчётными методами (аналитическими), так и при помощи программных продуктов, в алгоритме которых чаще всего заложен численный метод расчёта. В виду трудоёмкости аналитических расчётов и ограниченности сроков подготовки бакалавров, а так же с учётом специфики их дальнейшей профессиональной деятельности в учёбный план подготовки была включена дисциплина «Компьютерный расчет электрических цепей и полей». Это относительно новая дисциплина. Наряду с развитием компьютерных технологий, одной из задач которых состоит в том, чтобы облегчить труд человека, появляются компьютерные программы и комплексы для выполнения той или иной задачи в частности для расчета и моделирования электрических цепей и полей.

Сам процесс моделирования и расчета весьма трудоемкий, и зачастую ограничен двумя измерениями и графиками. Компьютерные программы же ускоряют этот процесс

за счет заложенного алгоритма и методики расчета, а отображение результатов может быть и в 3D модели.

Компьютерные комплексы по расчету электрических цепей и полей бывают общего назначения, и узкоспециализированного, отличаются друг от друга методикой расчета, способом ввода данных, интерфейсом и пр.

В данных методических указаниях содержатся перечень лабораторно-практических работ и рекомендации по их выполнению, а так же требования к содержанию итогового отчета.

Тем не менее, в современном технологическом обществе необходимость в выпуске квалифицированных кадров, где уровень качества подготовки специалиста является системно-образующим фактором в динамической системе учебного процесса по ООП и предполагает логическую последовательность изучения данной дисциплины.

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать: теоретические основы методов исследования, заложенных в алгоритме программных пакетов для моделирования электрических полей и цепей электротехнических устройств и электротехнологических установок.

Уметь: создавать модели и проводить расчет в программных продуктах, используемых для моделирования электрических полей и расчета электрических цепей.

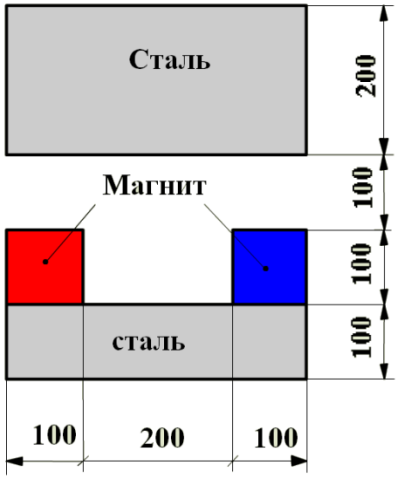
Владеть: программными пакетами для моделирования электрических полей и цепей электротехнических устройств и электротехнологических установок

Лабораторно-практическая работа № 1
Магнитостатика.

Цель работы: научиться рассчитывать в программном комплексе Elcut 6.1 магнитостатическое поле и проанализировать его распространение в пространстве.

Порядок выполнения работы:

1. Запустите на своём персональном компьютере программный комплекс Elcut.
2. Прочтите условия задачи: Дано: постоянный магнит Рис.1.1,



Магнитная проницаемость воздуха μ = 1;

Магнитная проницаемость стали μ = 1000;

Магнитная проницаемость магнита μ = 1;

Коэрцитивная сила H_c = 500000 А.

Требуется рассчитать силу действующую на ярмо если магнит находится в воздухе.

Рис. 1.1

Этапы моделирования:

1. Выбор типа задач и файлов модели.
2. Задание геометрии модели.
3. Задание физических свойств модели.
4. Решение и анализ результатов.

1. Чтобы выбрать задачу нажмите **Создать** и выберите **Задача Elcut**.

В появившемся окне, во вкладке «Имя файла задачи» впишите название файла: «магнит», и нажмите кнопку **Далее.**

В появившемся окне выберите тип задачи: Магнитостатика; Класс модели: плоская. **Файлы:** Геометрия магнит.mod. и нажать **Далее.**

В появившемся окне, Единицы длинны выбрать сантиметры (см.),; система координат: декартовая. Нажмите **Готово.**

Мы закончили вводить данные теперь можем приступить к созданию **модели.**

2. Нажмите кнопку: **Создать модель.** Далее программа уведомит вас что, задачи магнит.mod. не существует и попросит сохранить – Нажмите кнопку **ОК.**

Итак если вы всё сделали правильно у вас с право откроется поле где вы будете строить свою модель, с лево отображена структура задачи Рис. 1.2.

Для быстрого построения модели необходимо настроить шаг сетки привязки, отображаемой в поле с право. Для этого на верхней панели управления нажмите **Вид > Сетка привязки**. В появившемся поле, во вкладки Шаги: проставить значение по 10 см. Нажмите кнопку **ОК.**

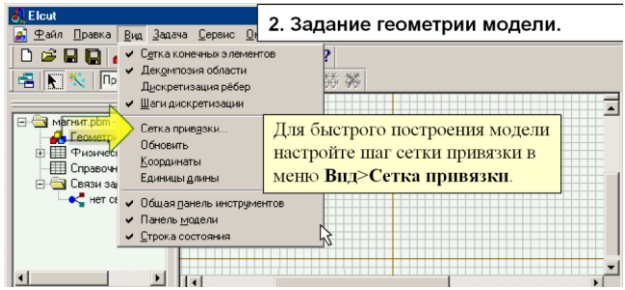


Рис. 1.2

На панели управления переключаемся в режим *вставки* модели, и с помощью прямых линий и дуг нарисуйте модель согласно Рис. 1.1. После того как модель построена, уменьшите немного масштаб картинки, и начертите границы распространения магнитного поля.

После построения нашей модели необходимо создать сетку конечных элементов, так как показано на Рис 1.3.

3. Необходимо обозначить все элементы и их границы из которых состоит наша модель. Для этого мышью щелкаем по очереди по «квадратам» и правой кнопкой мыши вызываем панель: **Свойства** (Рис. 1.4а). Где в появившемся окне (Рис. 1,4.б) – **Метка** напишите названия выделенной области: «Воздух». Проделайте аналогично с областями «Сталь», «магнит S» и «магнит N», в соответствии с заданием (Рис. 1.1).

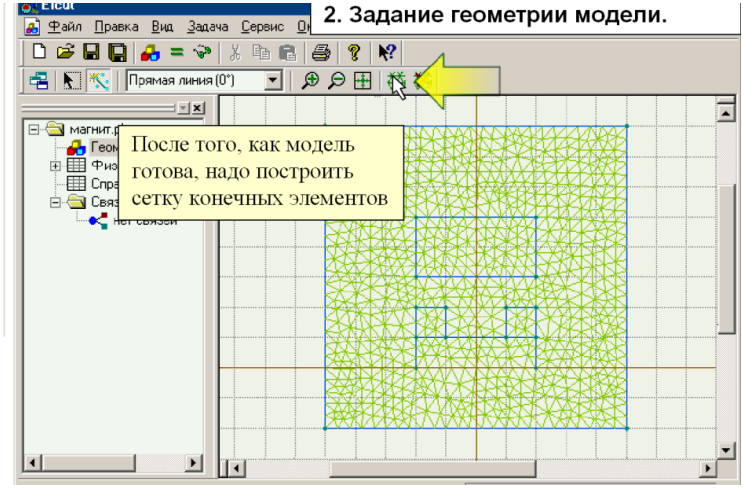


Рис. 1.3

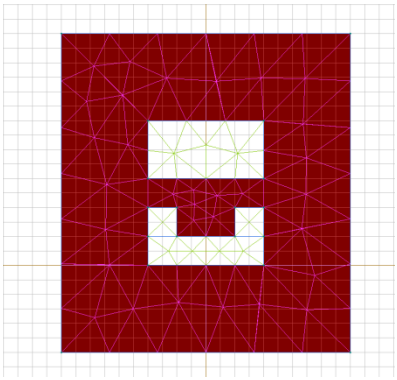


Рис. 1.4а

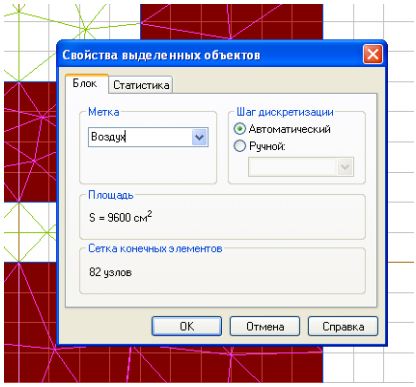


Рис. 1.4б

Далее необходимо выделить границы (ребра) элемента границы модели. Для этого выделим одно из ребер элемента границы, зажав левый Ctrl, выделим все остальные ребра образуя замкнутый «квадрат»; так же вызываем **Свойства**, и в появившемся окне называем границы (например «нулевое поле»).

В левом поле программы ищем вкладку Физические свойства, в ней отображены блоки, ребра, вершины, названия которых Мы определили, по очереди в свойствах проставляем проводимость заданную в задании, в соответствии с условными элементами и материалами. Примечание во вкладки блок с названием «магнит S» и «магнит N», необходимо указать также величину H_c = 500000 А. И выставить 90°, -90° в соответствии с полярностью.

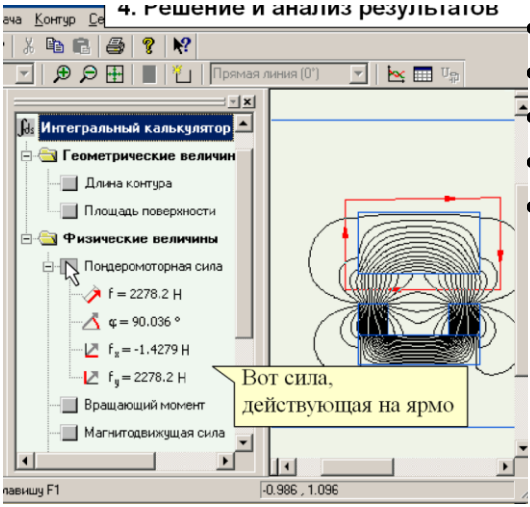
4. Решение и анализ результатов.

Когда модель полностью готова необходимо ее прорешать. Для этого заходим во вкладку **Задача>Решить магнит.** На экране появляется картина распространения магнитного поля. Рис. 1.5. Для построения и анализа модели на верхней панели управления выберите: **Добавить к кон-**

туру. Обведите в замкнутый контур, по часовой стрелке, «Сталь» в верхней части модели. Более детально можно просмотреть результаты воспользовавшись кнопками **Калькулятор, Интегральный калькулятор** и **Локальные значения.**

Локальные значения позволят определить физические величины в любой точки распространяющегося магнитного поля (Рим. 1.5).

Воспользовавшись кнопкой **График** можно просмотреть следующие результаты:



- потенциал;
- индукция;
- напряженность;
- проницаемость;
- плотность энергии.

По полученным данным необходимо сделать выводы.

Рис. 1.5.

Лабораторно-практическая работа № 2
Магнитное поле синусоидальных токов.

Цель работы: научиться рассчитывать в программном комплексе Elcut 6.1 магнитное поле синусоидальных токов и проанализировать его распространение в пространстве.

Порядок выполнения работы:

1. Запустите на своём персональном компьютере программный комплекс Elcut.

2. Прочтите условия задачи. Дано: Проводник в пазу электрической машины Рис.2.1.

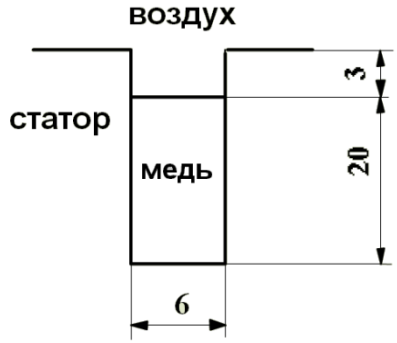


Рис. 2.1

Магнитная проницаемость воздуха $\mu = 1$;
Магнитная проницаемость стали $\mu = 1000$;
Электропроводимость меди $g = 58.10^6$ См/м;
Ток $I = 500$ А.

Требуется выяснить влияния поверхностного эффекта на активное сопротивление проводника.

Этапы моделирования:

1. Выбор типа задач и файлов модели.
2. Задание геометрии модели.
3. Задание физических свойств модели.
4. Решение и анализ результатов.

1. Чтобы выбрать задачу нажмите **Создать** и выберите **Задача Elcut**.

В появившемся окне, во вкладке «Имя файла задачи» впишите название файла: «Задача Elcut», и нажмите кнопку **Далее**. В следующем окне необходимо дать имя файлу, допустим – «паз», и нажать **Далее**. Затем выставить следующие параметры задачи:

- тип задачи: магнитное поле синусоидальных токов;
- класс модели: плоская;
- частота f: 50 Гц.
- единицы длинны мм;

- система координат: декартовая.

Нажмите **Далее**.

3. После описания задачи необходимо начертить модель по размерам данным на Рис. 2.1 на поле. По аналогии с предыдущей лабораторной работой должна получиться модель представленная на Рис 2.2а. с сеткой конечных элементов Рис. 2.2б.

4. Проанализируйте результаты моделирования с помощью мастера импеданса. **Вид>Мастер импеданса.**

Представьте отчет в виде диаграммы.

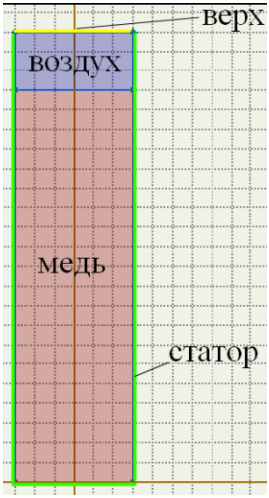


Рис. 2.2а

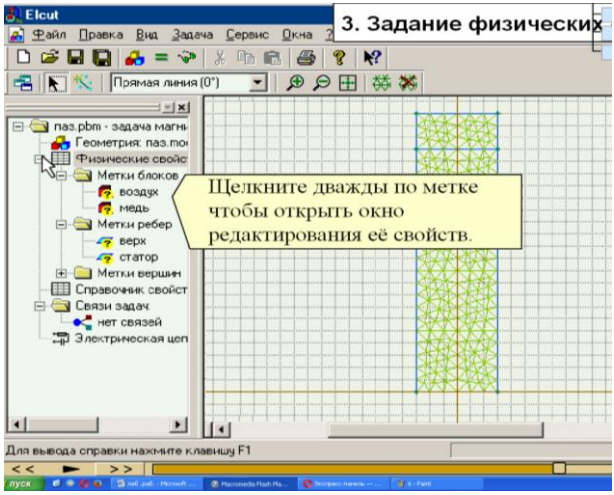


Рис. 2.2б

Лабораторно-практическая работа № 3
Нестационарное магнитное поле.

Цель работы: научиться рассчитывать в программном комплексе Elcut 6.1 нестационарные магнитные поля и проанализировать их распространение в пространстве.

Порядок выполнения работы:

1. Запустите на своём персональном компьютере программный комплекс Elcut.

2. Прочтите условия задачи. Дано: Катушка, Рис. 3.1–

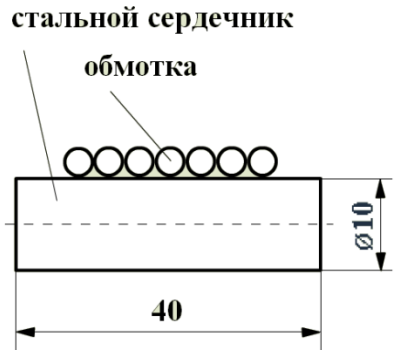


Рис. 3.1

Магнитная проницаемость обмотки μ = 1;

Магнитная проницаемость стали μ = 500;

Напряжение U = 0,1 В.

Проводимость обмотки: Q = 56000000 См/м.

Постоянное напряжение было приложено к обмотки , необходимо найти переходный ток.

Этапы моделирования:

1. Выбор типа задач и файлов модели.
2. Задание геометрии модели.
3. Задание физических свойств модели.
4. Решение и анализ результатов.

1. Чтобы выбрать задачу нажмите **Создать** и выберите **Задача Elcut.**

В появившемся окне, во вкладке «Имя файла задачи» впишите название файла: «Задача Elcut», и нажмите кнопку **Далее**. В следующем окне необходимо дать имя файлу, допустим – «катушка», и нажать **Далее**. Затем выставить следующие параметры задачи:

- тип задачи: «Нестационарное магнитное поле»;
- класс модели: осесимметричная;

нажать **Далее,** в следующим окне выбрать:

- единицы длинны: миллиметры, мм;
- систему координат: декартовую,

нажать **Далее,** в появившемся окне выбрать:

- интегрирование по времени: 0,005 секунд;
- поставить галочку напротив надписи: «автоматический выбор шага».

2. Зададим геометрию модели.

Необходимо начертить модель по размерам данным на Рис. 3.1, на поле, выставив шаг привязки сетки по 1 см. По аналогии с первой лабораторной работой должна получиться модель представленная на Рис 3.2а. с сеткой конечных элементов Рис. 3.2б.

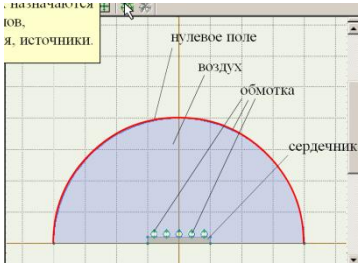


Рис 3.2а.

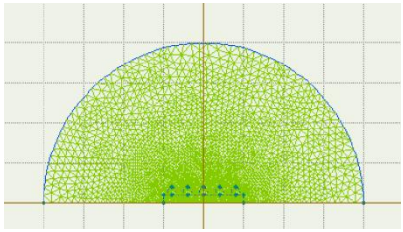


Рис 3.2б.

3. Задайте физические свойства из условия задачи.

4. произведите расчет модели, представьте полученные результаты в виде графика зависимости времени от тока.

Лабораторно-практическая работа № 4
Электрические цепи

Цель работы: научиться рассчитывать в программном комплексе Elcut 6.1 Электрические цепи и проанализировать его распространение в пространстве.

Порядок выполнения работы:

1. Запустите на своём персональном компьютере программный комплекс Elcut.

2. Прочтите условия задачи: Дано: 3-х фазная система электропередачи Рис.4.1,

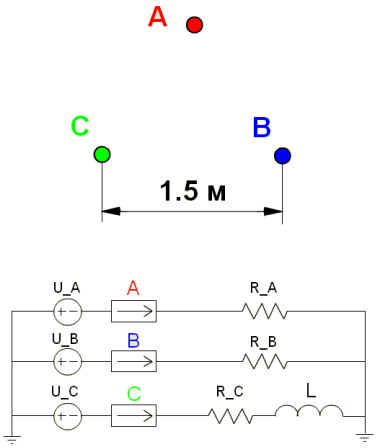


Рис. 4.1

Диаметр проводника: d = 1 мм;
Электропроводимость меди: $g = 58 \cdot 10^6$ См/м;
Напряжение: U = 400 В;
Сопротивления: $R_A = 2$ Ом, $R_B = 2{,}5$ Ом, $R_C = 1$ Ом;
Индуктивность: L = 0,002 Гн;
Сопротивления заземления 8 Ом.
Найдите токи в линии электропередач.

Этапы моделирования:

1. Выбор типа задач и файлов модели.
2. Задание геометрии модели.
3. Задание физических свойств модели.
4. Решение и анализ результатов.

1. Чтобы выбрать задачу нажмите **Создать** и выберите **Задача Elcut**.

В появившемся окне, во вкладке «Имя файла задачи» впишите название файла: «Задача Elcut», и нажмите кнопку **Далее**. В следующем окне необходимо дать имя файлу, допустим – «линия передач», и нажать **Далее**. Затем выставить следующие параметры задачи:

- тип задачи: «Магнитное поле переменных токов»;
- класс модели: плоская;
- частота, f = 50 Гц.

нажать **Далее,** в следующим окне выбрать:

- единицы длинны: сантиметры, См;

- систему координат: декартовую, нажать **Далее.**

2. Зададим геометрию модели.

Необходимо начертить модель, показанную на рис. 4.2а. с сеткой конечных элементов Рис. 4.2б. выставив шаг привязки сетки по 1 см. по аналогии с первой лабораторной работой. В свойствах выделенных объектов должно получиться: Фаза А, Фаза В, Фаза С, Воздух и граница распространения. После присвоить свойства меток по данным задачи. При указании значения электропроводимости $58 \cdot 10^6$ необходимо записать в форме: **58e6** иначе система не поймет данное значение.

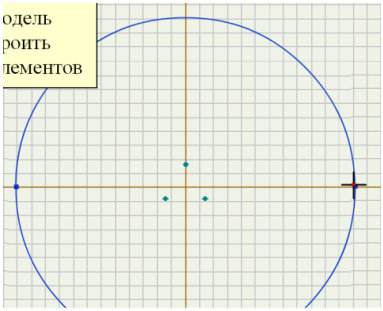


Рис 4.2а.

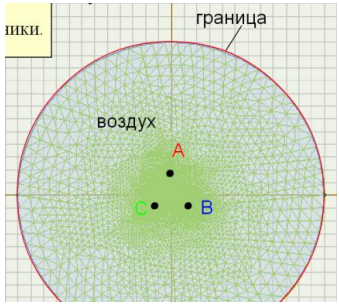


Рис 4.2б.

Теперь, когда модель построена, необходимо построить схему, показанную на рис. 4.1. Для этого в левом поле программы находим вкладку **Связи задачи/Электрическая цепь.** На главной панели появляется дополнительная панель в которой есть все необходимые элементы для построения электрической схемы представленной на рис. 4.1.

В итоге у нас должна получиться электрическая цепь показанная на рис. 4.3

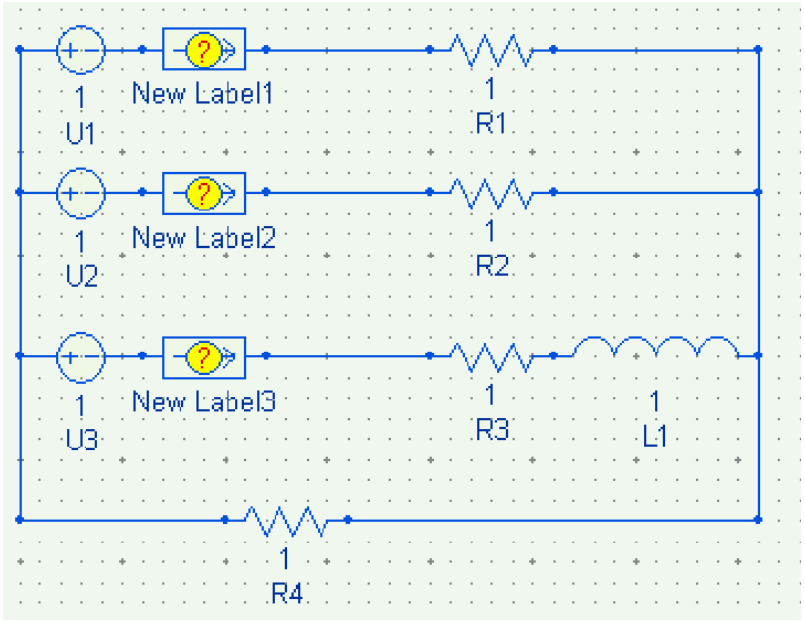


Рис. 4.3

3. Далее необходимо на каждом элементе данной электрической цепи (Рис. 4.3.) задать физические свойства из условия задачи. и привязать их к нашей модели (Рис. 4.2).

4. Произведите расчет модели, представьте полученные результаты в виде рисунка распространения магнитного поля, а также получите результаты решения электрической цепи вызвав окно цепи.

Лабораторно-практическая работа №5
Электрическое поле переменных токов

Цель работы: научиться рассчитывать в программном комплексе Elcut 6.1 Электрическое поле переменных токов и проанализировать его растекание в земле.

Порядок выполнения работы:

1. Запустите на своём персональном компьютере программный комплекс Elcut.

2. Прочтите условия задачи: Дано: Трехфазный силовой кабель Рис 5.1.

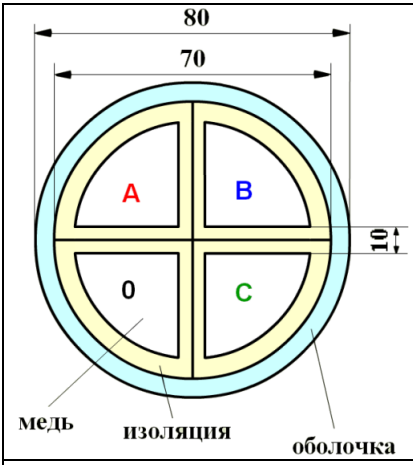


Рис 5.1

Кабель состоит из 4-х изолированных жил. Данный кабель закопан в землю (потенциал оболочки равен, U = 0 В).

Напряжение U = 250 В.

Частота f = 400 Гц.

Необходимо определить ток утечки и проанализировать распространение электрического поля.

Этапы моделирования:

1. Выбор типа задач и файлов модели.
2. Задание геометрии модели.
3. Задание физических свойств модели.
4. Решение и анализ результатов.

1. Чтобы выбрать задачу нажмите **Создать** и выберите **Задача Elcut.**

В появившемся окне, во вкладке «Имя файла задачи» впишите название файла: «Задача Elcut», и нажмите кнопку **Далее**. В следующем окне необходимо дать имя файлу, допустим – «кабель», и нажать **Далее**. Затем выставить следующие параметры задачи:

- тип задачи: «Электрическое поле переменных токов»;
- класс модели: плоская;

- частота: $f = 400$ Гц.

нажать **Далее,** в следующим окне выбрать:

- единицы длинны: Сантиметры, См;
- систему координат: декартовую,

2. Зададим геометрию модели.

Необходимо начертить модель по размерам данным на Рис. 5.1, на поле, выставив шаг привязки сетки по 0,5 см. По аналогии с первой лабораторной работой должна получиться модель представленная на Рис 5.2а. с сеткой конечных элементов Рис. 5.2б.

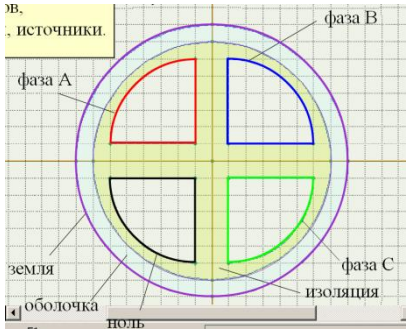


Рис 5.2а

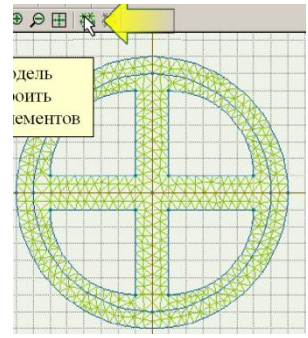


Рис 5.2б

3. Задайте физические свойства из условия задачи.

4. Произведите расчет модели, представьте полученные результаты в виде растекания электрического поля, для вычисления токов утечки через оболочку надо построить контур, После чего запустить интегральный калькулятор.

Сделайте выводы по полученным результатам.

Лабораторно-практическая работа № 6
Стационарная теплопередача, нестационарная теплопередача.

Цель работы: научиться рассчитывать в программном комплексе Elcut 6.1 Стационарные теплопередачи, и проанализировать их распространение температуры.

Порядок выполнения работы:

1. Запустите на своём персональном компьютере программный комплекс Elcut.

2. Прочтите условия задачи. Дано: Паз электрической машины Рис 6.1.

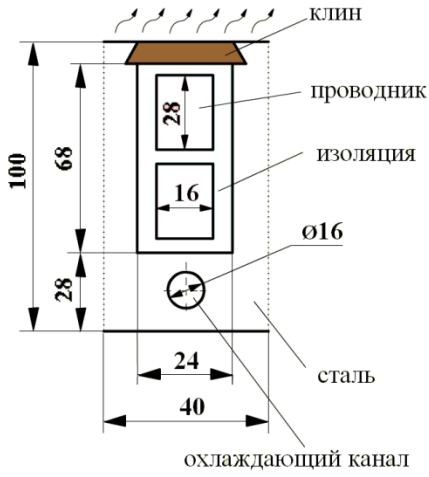


Рис. 6.1

Плотность тока I = 2 А/мм^2

Теплопроводность проводника: λ_x и λ_y = 380 Вт/К·м.

Объемная плотность тепловыделения проводника: $36 \cdot 10^4$ Вт/м^3.

Теплопроводность изоляции: λ_x и λ_y = 0,15 Вт/К·м.

Теплопроводность клина: λ_x и λ_y = 0,25 Вт/К·м.

Теплопроводность стали: λ_x и λ_y = 25 Вт/К·м.

Необходимо определить распространения температуры в пазу электрической машины.

Этапы моделирования:

1. Выбор типа задач и файлов модели.
2. Задание геометрии модели.
3. Задание физических свойств модели.
4. Решение и анализ результатов.

1. Чтобы выбрать задачу нажмите **Создать** и выберите **Задача Elcut**.

В появившемся окне, во вкладке «Имя файла задачи» впишите название файла: «Задача Elcut», и нажмите кнопку **Далее**. В следующем окне необходимо дать имя файлу,

допустим – «паз», и нажать **Далее**. Затем выставить следующие параметры задачи:

- тип задачи: «Теплопередача стационарная»;
- класс модели: плоская, $L_z = 1$м;

нажать **Далее,** в следующим окне выбрать:

- единицы длинны: миллиметры, мм;
- систему координат: декартовую,

2. Зададим геометрию модели. Необходимо начертить модель по размерам данным на Рис. 6.1, на поле, выставив шаг привязки сетки по 4 мм. По аналогии с первой лабораторной работой должна получиться модель представленная на Рис 6.2а. с сеткой конечных элементов Рис. 6.2б.

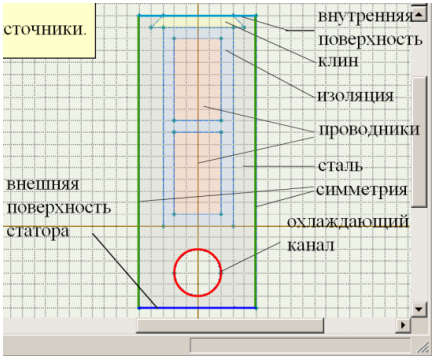
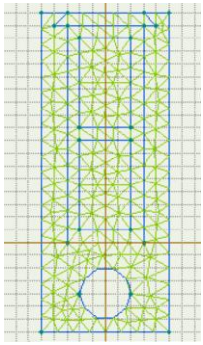


Рис 6.2а



6.2б.

3. Задайте физические свойства из условия задачи. Конвенция: канала: а = 100 Вт/К·м^2, внутренней поверхности, 150 Вт/К·м^2 при $T_0 = 40$ К; конвенция снаружи: 20 Вт/К·м^2, при $T_0 = 20$ К;

4. Произведите расчет модели, представьте полученные результаты в виде рисунка распределения температуры.

Лабораторно-практическая работа № 7
Мульти-полевые задачи.

Цель работы: научиться рассчитывать в программном комплексе Elcut 6.1 Мульти-полевые задачи.

Порядок выполнения работы:

1. Запустите на своём персональном компьютере программный комплекс Elcut.

2. Прочтите условия задачи: Дано: Распределение механических напряжений в длинном соленоиде Рис. 7.1.

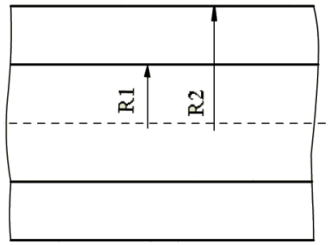


Рис. 7.1

Внутренний радиус: $R_1 = 5$ мм.
Внешний радиус: $R_2 = 10$ мм.
Плотность тока $j = 4 \cdot 10^6$ А/м^2.
Модуль Юнга $E = 1.75 \cdot 10^{11}$ Н/м^2.
Коэффициент Пуассона: $\nu = 0{,}33$
Рассчитать распределение механических напряжений в обмотке с током.

Этапы моделирования:

1. Выбор типа задач и файлов модели.
2. Задание геометрии модели.
3. Задание физических свойств модели.
4. Решение и анализ результатов.
5. Механическая часть задачи.
6. Задание физических свойств модели.
7. Решение и анализ результатов.

1. Чтобы выбрать задачу нажмите **Создать** и выберите **Задача Elcut**.

В появившемся окне, во вкладке «Имя файла задачи» впишите название файла: «Задача Elcut», и нажмите кноп-

ку **Далее**. В следующем окне необходимо дать имя файлу, допустим – «соленоид», и нажать **Далее**. Затем выставить следующие параметры задачи:

- тип задачи: «Магнитостатика»;
- класс модели: осесимметричная;

нажать **Далее,** в следующим окне выбрать:

- единицы длинны: сантиметры, см;
- систему координат: декартовую,

2. Зададим геометрию модели.

Необходимо начертить модель по размерам данным на Рис. 7.1, на поле, выставив шаг привязки сетки по 0,5 см. По аналогии с первой лабораторной работой должна получиться модель представленная на Рис 7.2а. с сеткой конечных элементов Рис. 7.2б.

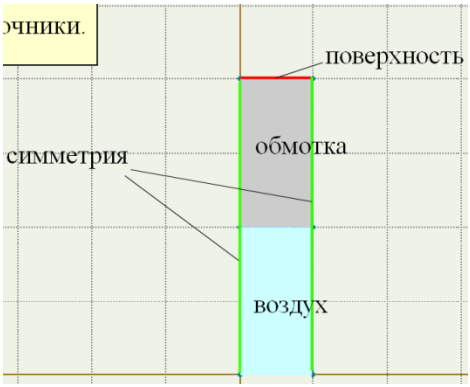


Рис 7.2а

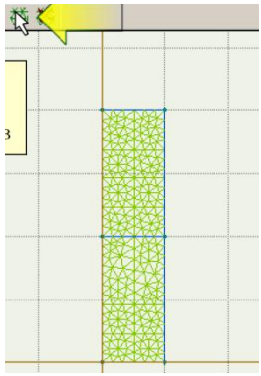


Рис. 7.2б

3. Задайте физические свойства из условия задачи.

4. Произведите расчет магнитной части задачи.

5. Приступаем к решению механической части данной задачи. Для этого выполним пункты 1,2,3, заново с новой задачей «соленоид-механика».

- тип задачи: «Упругие напряжения и деформации»,

- класс модели: осесимметричная;

нажать **Далее,** в следующим окне выбрать:

- единицы длинны: сантиметры, см;
- систему координат: декартовую.

Нажмите **Далее.**

Теперь необходимо осуществить связь между предыдущей задаче, для этого нужно выделить в левом окне в папку «Саленоид-механика», и правой кнопкой вызвать меню свойств и выбрать вкладку «Связь задач». В данной вкладке мы импортируем магнитные силы из магнитной задачи в задачу механики для расчета напряжений, для этого во вкладке «Связь задач» необходимо **Добавить** задачу «Магнитные силы: соленоид». Связанная задача должна появиться в древе слева.

6. Далее необходимо внести физические свойство (пункт 2).

7. Решение и анализ результатов представьте в виде распределения напряжений в соленоиде.

Примечание: Все лабораторные работы можно просмотреть в видео курсе разработанном фирмой ООО «Тор» специально для ознакомления с программным комплексом Elcut 5.6

Список рекомендованной литературы

1. Черных И.В. Решение полевых задач с помощью программы ELCUT 4.2 Екатеринбург: Изд-во УГТУ - УПИ, 2005. 24 с.
2. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров: Справ. Пособие. М.: Машиностроение-1, 2004. 512 с.
3. Басов К.А. Графический интерфейс комплекса ANSYS. – М.: ДМК Пресс, 2006. – 248 с.
4. Фисенко В.Г. Численные расчеты электромагнитных полей в электрических машинах на основе метода конечных элементов: Учебное пособие. М.: Кафедра электромеханики МЭИ, 2002. 21с.
5. Копылов, А. Ф. Основы теории электрических цепей.: учеб. пособие / А. Ф. Копылов, Ю. П. Саломатов, Г. К. Былкова. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. – 666 с.
6. ELCUT. Моделирование электромагнитных, тепловых и упругих полей методом конечных элементов. Версия 6.1. Руководство пользователя – Санкт-Питербург: ООО «Тор», 2015гг. 303 с. http://elcut.ru/demo/manual.pdf

Составители:
Никонов Сергей Александрович
Болотов Денис Сергеевич

КОМПЬЮТЕРНЫЙ РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ И ПОЛЕЙ

Методические указания
для выполнения лабораторных работ

Редактор *М.Г. Девищенко*
Компьютерная верстка *В.Н. Зенина*

Подано в печать «__» _____2021 г. Формат 60x84 $^{1}/_{16}$
Объем 1,5 уч.-изд. л., 1,75 усл. печ. л.
Тираж 100 экз. Изд №___ Заказ ___

Отпечатано в Издательском центре НГАУ «Золотой колос»
630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, кааб. 106.
Тел./факс (383) 267-09-10. E-mail: 2134539@mail.ru