



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Радиоэлектроника»

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ по выполнению учебной практики

Авторы

Шокова Ю.А.,

Звездина М.Ю.

Ростов-на-Дону, 2016

## Аннотация

Методические указания предназначены для студентов всех форм обучения по специальностям 11.03.01 и 11.03.02.

## Авторы



к.ф.-м.н.,  
доцент кафедры  
«Радиоэлектроника»

Шокова Юлия  
Александровна



д.ф.-м.н., доцент,  
зав. кафедрой  
«Радиоэлектроника»

Звезда Марина  
Юрьевна



## Оглавление

<b>Порядок выполнения работы .....</b>	<b>4</b>
<b>Указания по выполнению работы .....</b>	<b>6</b>
Создание структурированного файла формата *.prn .....	6
Работа с массивами в MathCad.....	7
Чтение данных из файла в MathCad.....	7
Оцифровка графиков в программе GetData Graph Digitizer. Сохранение в формат *.prn .....	8
Построение графиков в декартовой системе координат в MathCad .....	12
Нахождение вида функциональной зависимости экспериментальных данных .....	14
Оформление графиков в отчете по работе .....	17
<b>Варианты заданий .....</b>	<b>20</b>
Вариант 1 .....	20
Вариант 2 .....	22
Вариант 3 .....	24
Вариант 4 .....	26
Вариант 5 .....	28
Вариант 6 .....	30
Вариант 7 .....	32
Вариант 8 .....	34
Вариант 9 .....	36
Вариант 10.....	38
Вариант 11.....	40
Вариант 12.....	42
Вариант 13.....	44
Вариант 14.....	46
Вариант 15.....	48
Вариант 16.....	50
Вариант 17.....	52
Вариант 18.....	54
Вариант 19.....	56
<b>Шаблон отчета.....</b>	<b>58</b>

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Цель работы: обучение основным навыкам обработки экспериментальных данных, составлению отчета о выполненной работе.

### Выбор варианта:

		Предпоследняя цифра зачетки									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Последняя цифра зачетки	0	1	11	2	12	3	13	4	14	5	15
	1	2	12	3	13	4	14	5	15	6	16
	2	3	13	4	14	5	15	6	16	7	17
	3	4	14	5	15	6	16	7	17	8	18
	4	5	15	6	16	7	17	8	18	9	19
	5	6	16	7	17	8	18	9	19	10	1
	6	7	17	8	18	9	19	10	1	11	2
	7	8	18	9	19	10	1	11	2	12	3
	8	9	19	10	1	11	2	12	3	13	4
	9	10	1	11	2	12	3	13	4	14	5

### Порядок выполнения работы:

- 1 Заполнение титульного листа отчета.
- 2 Создание структурированного файла (data.prn), содержащего исходные данные из таблицы 1.
- 3 Оцифровка графиков для R и L в программе GetData Graph Digitizer. Экспорт в соответствующие структурированные файлы dataR.prn и dataL.prn.
- 4 Чтение данных из файла data.prn, построение графиков исходных данных в виде точек на декартовой плоскости.
- 5 Чтение данных из файлов dataR.prn и dataL.prn, построение соответствующих графиков в виде линий. На графики нанести точки экспериментально полученных данных.
- 6 Подбор вида функциональной зависимости по экспериментальным данным с помощью функций linfit для значений R и genfit для значений L.  
В линейной комбинации использовать не менее трех функций.  
Для функции genfit экспериментально подобрать вид функции из ряда:

## Учебная практика

$$y = \exp(a_0 + a_1x + a_2x^2), \quad y = \frac{1}{a_0} \exp\left(\frac{-x}{a_1}\right) + a_2, \quad y = \frac{a_0}{x - a_1} + a_2.$$

7 Построение совмещенных графиков:

- подобранная функциональная зависимость и экспериментальные точки;

- подобранная функциональная зависимость и оцифрованный теоретический график.

8 Оформление отчета по выполненной работе.

## УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

### Создание структурированного файла формата \*.prn

Формат \*.prn является одним из форматов данных, с которыми работает MathCad. Изнутри файл данного формата представляет собой текстовый файл, содержащий цифровые значения, разделенные в одной строке табуляцией. Формировать файл рекомендуется в редакторе Блокнот.

В новый текстовый документ необходимо перенести данные из таблицы в виде, приведенном на рисунке 1.

Первое значение $f$	Первое значение R	Первое значение L
Второе значение $f$	Второе значение R	Второе значение L
Третье значение $f$	Третье значение R	Третье значение L
...	...	...
Последнее значение $f$	Последнее значение R	Последнее значение L

а)

Первое значение $a$	Первое значение R	Первое значение L
Второе значение $a$	Второе значение R	Второе значение L
Третье значение $a$	Третье значение R	Третье значение L
...	...	...
Последнее значение $a$	Последнее значение R	Последнее значение L

б)

Рисунок 1 – Структура файла data.prn а) при зависимости R и L от частоты; б) при зависимости R и L от расстояния между проводниками

Разделитель между целой и десятичной частью точка, в каждой строчке значения отделены друг от друга табуляцией (клавиша Tab).

После набора значений необходимо сохранить файл в рабочий каталог с именем data. В проводнике (или любом другом файловом менеджере) изменить расширение файла с \*.txt на \*.prn.

## Работа с массивами в MathCad

Для присвоения переменной некоторого значения используется оператор :=, который в программе выставляется нажатием комбинации горячих клавиш Shift+;

Переменной может быть присвоены различные значения, например, константа, вектор, матрица, результат вычисления функции

$$\begin{array}{ll} \underline{\underline{A}} := 5 & \underline{\underline{B}} := \begin{pmatrix} 4 \\ 6 \end{pmatrix} \\ \underline{\underline{C}} := \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1 & 1 \end{pmatrix} & \underline{\underline{D}} := \exp(\underline{\underline{A}}) \end{array}$$

Для вставки матрицы или вектора необходимо выбрать в меню Вставка->Матрица. В диалоговом окне указать нужную размерность.

Для доступа к элементам матрицы используются нижние индексы

$$\begin{array}{ll} \underline{\underline{B}} := \begin{pmatrix} 4 \\ 6 \end{pmatrix} & \underline{\underline{C}} := \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1 & 1 \end{pmatrix} \\ \underline{\underline{B}}_0 = 4 & \underline{\underline{C}}_{0,1} = 0 \end{array}$$

Для указания нижнего индекса необходимо нажать горячую клавишу [

MathCad позволяет задавать функциональную зависимость от нескольких аргументов, например:

$$\begin{array}{l} \underline{\underline{F}}(x) := x^2 + 1 \\ \underline{\underline{F}}(1) = 2 \end{array}$$

## Чтение данных из файла в MathCad

Для корректной работы с файлами, файл MathCad должен располагаться в том же каталоге, что и файл с данными.

Для того чтобы считать из файла data.prn три вектора с данными, необходимо выполнить следующие действия:

- чтение данных из структурированного файла в обобщенную матрицу
  - функция READPRN(“имя\_файла.prn”) возвращает матрицу. Каждая строка в файле становится стро-

- кой в матрице
- разбиение обобщенной матрицы на вектора
    - функция `submatrix(A,ir,jr,ic,jc)` возвращает подматрицу, состоящую из элементов, содержащихся в строках с `ir` по `jr` и столбцах с `ic` по `jc` матрицы `A`;
    - нумерация строк и столбцов в MathCad по умолчанию осуществляется с 0 и следовательно, индекс последнего элемента вектора длины `N` будет `N-1`;
    - число строк в матрице или векторе `A` определяется с помощью функции `rows(A)`.

Таким образом, для того, чтобы считать вектор значений `R` из файла `data.prn`, необходимо записать следующий код:

```
A := READPRN("data.prn")  
N := rows(A)  
R := submatrix(A,0,N - 1,1,1)
```

Для дальнейшей обработки данных необходимо выделить следующие вектора: `f` (или `a` в зависимости от задания), `R` и `L`.

## Оцифровка графиков в программе **GetData Graph Digitizer. Сохранение в формат \*.prn**

После открытия файла с графиком в программе необходимо задать оси. Нажать на кнопку `Set the Scales` (рисунок 2).

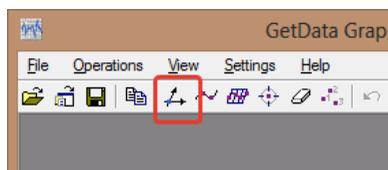


Рисунок 2 – Кнопка задания осей

После чего щелчком мыши определяется точка с наименьшим значением по оси абсцисс (рисунок 3, а) и в диалоговом окне задается минимальное значение по оси абсцисс (рисунок 3, б). Позже это значение можно будет подкорректировать.

Учебная практика

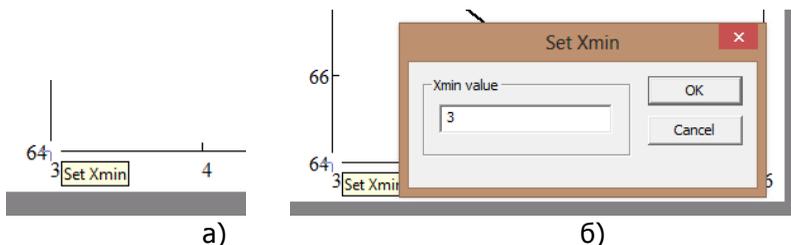


Рисунок 3 – Задание минимального значения по оси абсцисс

точка с наибольшим значением по оси абсцисс (подпись Set Xmax):

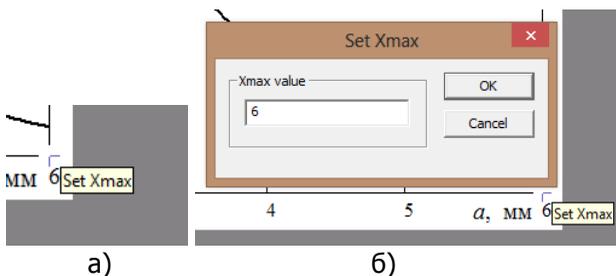


Рисунок 4 – Задание максимального значения по оси абсцисс

Аналогичным образом задаются наименьшее и наибольшее значения по оси ординат. После задания точек появляется диалоговое окно Adjust scale для корректировки заданных численных значений (рисунок 5).

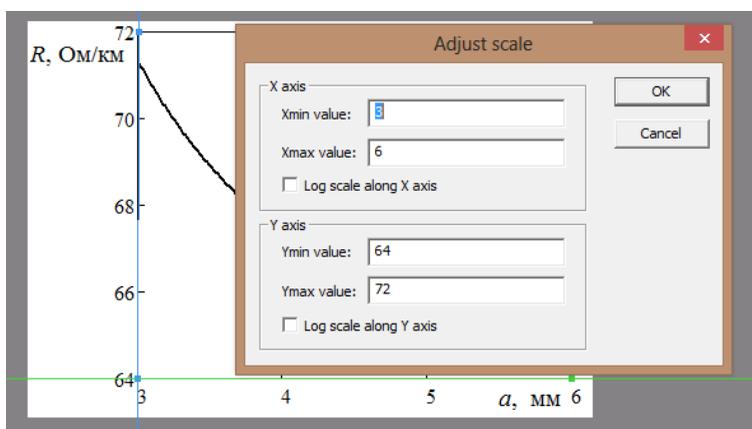


Рисунок 5 – Окно корректировки значений

## Учебная практика

После задания осей необходимо нажать кнопку Point capture mode, показанную на рисунке 6.

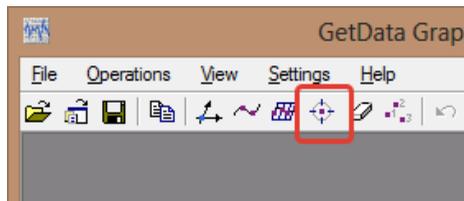


Рисунок 6 – Кнопка оцифровки графика

В ручном режиме расставить точки на графике, как показано на рисунке 7. Следует учесть, что если участок графика образует прямую, на нем достаточно отметить две точки. На участках с изгибом или изломом необходимо отмечать больше точек, причем, чем сильнее изгиб, тем больше точек необходимо указать.

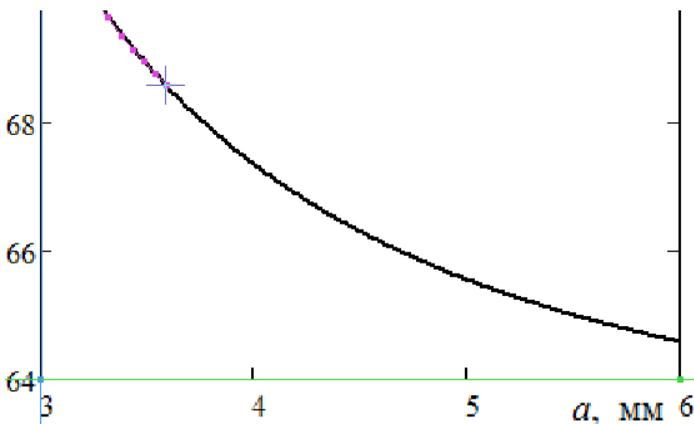


Рисунок 7 – Расстановка точек графика

Для того чтобы удостовериться, попал ли курсор в нужную точку, можно воспользоваться окном с увеличением области под курсором (рисунок 8), расположенным в правом нижнем углу программы.

## Учебная практика

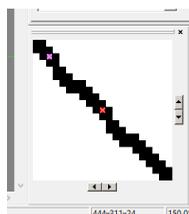


Рисунок 8 – Окно с увеличением области под курсором

Наносить точки на график следует последовательно в одном направлении (справа налево или слева направо), не меняя его.

После нанесения всех точек необходимо экспортировать данные: File->Export Data или нажатием сочетания кнопок Shift+Alt+E. Файл сохранить в рабочий каталог. В имени файла не использовать кириллические символы.

Файл с оцифрованными данными имеет формат \*.txt и содержит служебную информацию, которая будет мешать при считывании файла в MathCad (рисунок 9). Необходимо убрать выделенные синим 4 строки, сделав так, чтобы файл начинался с цифровых значений, а после пересохранить файл.

Первый столбец цифр соответствует значениям абсцисс отмеченных точек, второй столбец – значениям ординат.

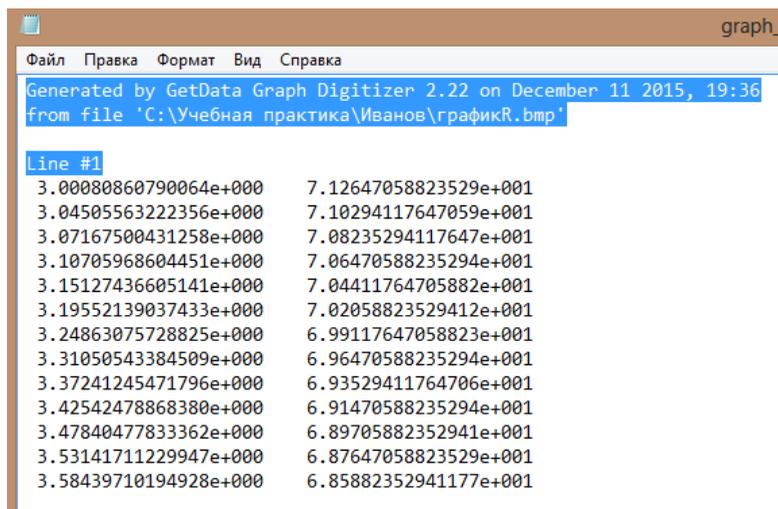


Рисунок 9 – Результат оцифровки данных

После этого в проводнике или любом другом файловом менеджере изменить расширение файла на \*.prn.

## Построение графиков в декартовой системе координат в MathCad

Для построения графиков в декартовой системе координат необходимо выбрать в меню Вставка->График->График X-Y (рисунок 10) или нажать горячую клавишу @.

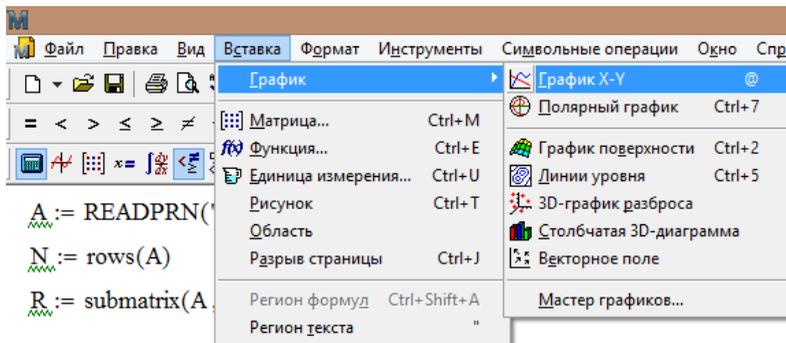


Рисунок 10 – Вставка графика в декартовой системе координат

После этого в программе появится пустой график. В пустой местозаполнитель по центру осей необходимо вставить имена тех переменных, зависимость которых необходимо отобразить на графике, например, f и R (рисунок 11). Переменные должны быть вектор-столбцами одинаковой размерности.

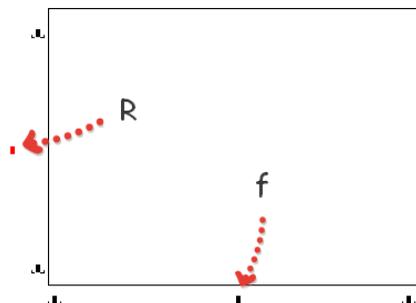


Рисунок 11 – Задание осей

Местозаполнители в начале и конце оси можно оставить пу-

стыми, тогда MathCad автоматически подберет минимальное и максимальное значения по осям.

В MathCad графики можно наносить различными способами, например, отрезками от точки до точки (рисунок 12 а) или точками (рисунок 12 б).

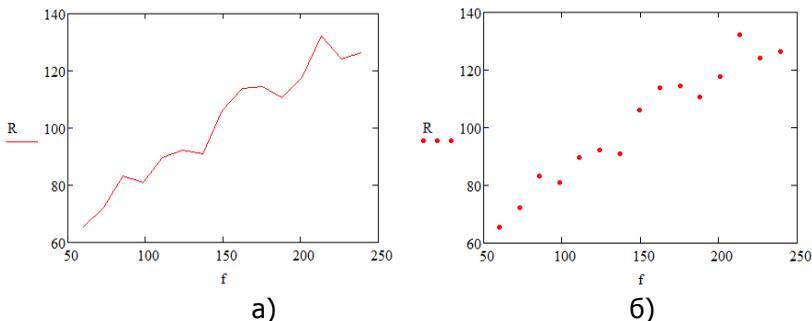


Рисунок 12 – График в MathCad а) линией; б) точками

Настроить способ отображения графика можно через диалоговое окно, вызываемое щелчком правой кнопки мыши на графике и выборе Формат->Трассировка. В столбце «Тип» позиция «линии» соответствует первому типу отображения данных, «точки» - второму.

В этом же диалоговом окне можно задать цвет и толщину линий, вид символа вместо точки при точечном отображении данных, размер и цвет точки или символа. Например, на рисунке 12 а) линия имеет толщину 1, а на рисунке 12 б) точка – размер 3.

На график могут быть нанесены несколько наборов данных. Для добавления второй переменной, содержащей вектор-столбец с данными, необходимо после первой переменной в центральном местозаполнителе необходимой оси нажать запятую, после чего ввести имя новой переменной (рисунок 14).

Можно вводить отображение двух и более переменных по оси абсцисс, по оси ординат и одновременно на двух осях. Если по одной оси, например, оси ординат, записаны две переменные, а по другой – одна, это означает, обе что переменные по оси ординат зависят от переменной по оси абсцисс и имеют одинаковую с ней размерность.

## Учебная практика

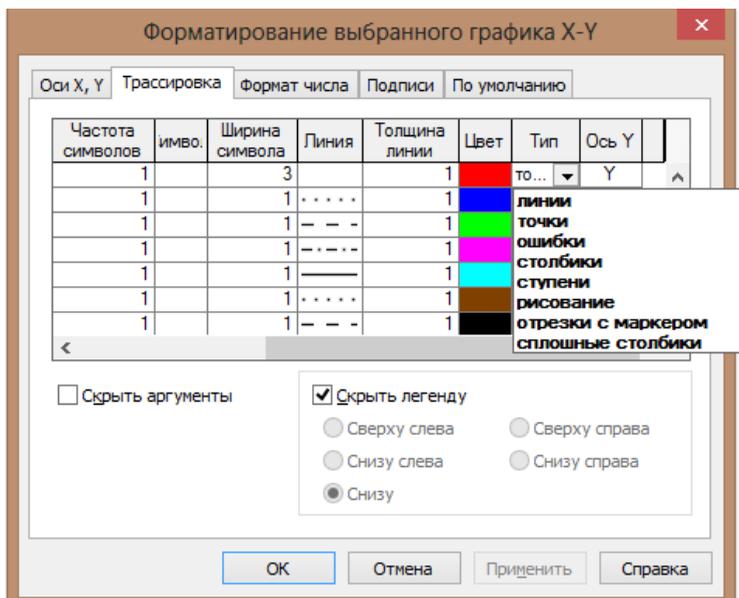


Рисунок 13 – Настройка формата графика

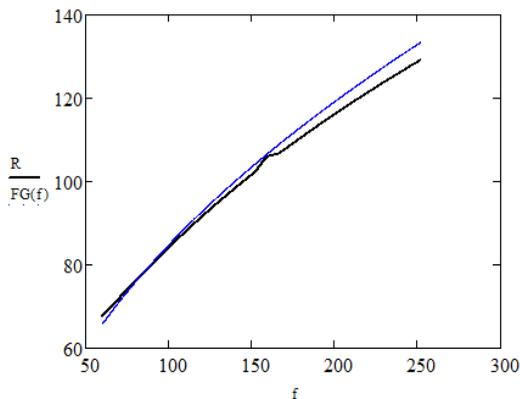


Рисунок 14 – Два набора данных на одном графике

### Нахождение вида функциональной зависимости экспериментальных данных

Для нахождения приблизительного вида функциональной зависимости между двумя переменными по экспериментальным данным в MathCad можно воспользоваться функциями `linfit` и

genfit.

Если предполагается, что данные могли бы быть смоделированы в виде линейной комбинации произвольных функций  $f_0(x), f_1(x), \dots, f_n(x)$ , то есть

$$y = a_0 f_0(x) + a_1 f_1(x) + \dots + a_n f_n(x),$$

то для нахождения неизвестных коэффициентов  $a_0, a_1, \dots, a_n$  используется функция linfit. Пример применения функции linfit приведен на рисунке 15.

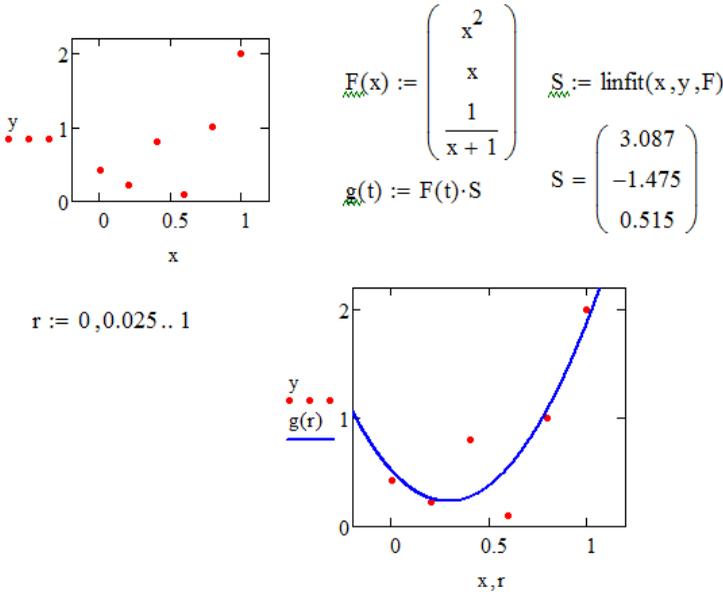


Рисунок 15 – Пример применения функции linfit

Здесь предполагается, что есть два вектора  $x$  и  $y$ , содержащих экспериментальные точки. Линейная комбинация состоит из трех функций вида

$$f_0(x) = x^2, \quad f_1(x) = x, \quad f_2(x) = \frac{1}{x+1}$$

и задается в MathCad векторной функций  $F(x)$ .

Функция  $\text{linfit}(x, y, F)$  возвращает вектор, содержащий неизвестные коэффициенты  $a_0, a_1, a_2$  линейной комбинации функций из  $F$ . Этот вектор записывается в переменную  $S$ . Линейная комбинация задается функцией  $g(t)$  путем умножения вектора  $F$  на век-

тор S.

Для построения графика функции  $g$  необходимо задать массив точек по оси абсцисс, причем для гладкости графика точки должны располагаться достаточно плотно. Это реализуется с помощью записи

$$r := 0,0.025..1,$$

которая подразумевает создание массива точек от 0 до 1 с шагом 0,025.

Если предполагается, что данные могут быть смоделированы в виде сложной функции, например,

$$y = \exp(a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n),$$

то для нахождения неизвестных коэффициентов  $a_0, a_1, \dots, a_n$  используется функция `genfit`. Пример применения функции `genfit` приведен на рисунке 16.

Здесь также предполагается, что есть два вектора  $x$  и  $y$ , содержащих экспериментальные точки. Данные приближаются функцией вида

$$y = \exp(a_0 + a_1x + a_2x^2).$$

Для вызова функции `genfit` необходимо задать ее и ее производные по каждому из неизвестных коэффициентов  $a_0, a_1, a_2$ . Данные функции задаются вектором  $F(z, a)$ .

Кроме того, необходимо задать начальное приближение коэффициентов. Это осуществляется с помощью вектора `vg`.

Функция `genfit(x, y, vg, F)` возвращает вектор, содержащий неизвестные коэффициенты  $a_0, a_1, a_2$ , которые обеспечивают наилучшее приближение данных  $x$  и  $y$ . Этот вектор записывается в переменную  $S$ . Задание функции осуществляется подстановкой вектора  $S$  в функцию  $F$  и выделением первого элемента этого вектора

$$g(t) := F(t, S)_0$$

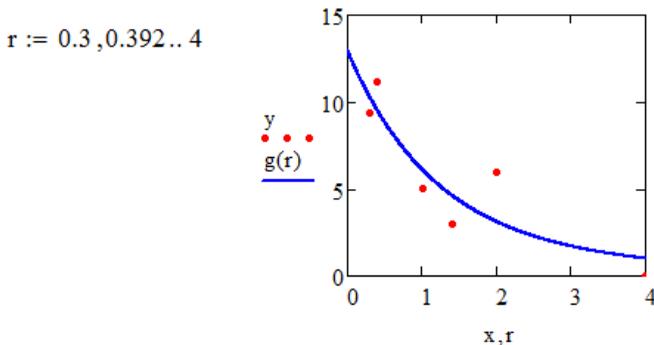
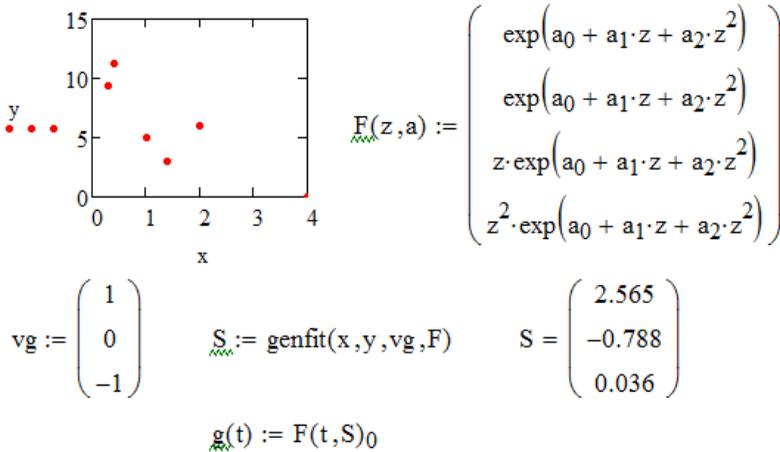


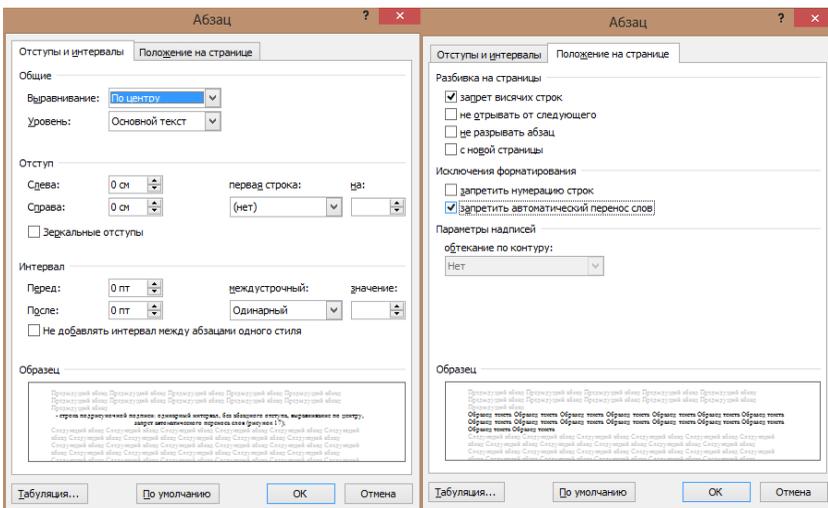
Рисунок 16 - - Пример применения функции genfit

## Оформление графиков в отчете по работе

При вставке графиков должны соблюдаться следующие правила, соответствующие стандарту ДГТУ:

- до рисунка одна пустая строка одинарного интервала;
- строка с графиком: одинарный интервал, без абзацного отступа, выравнивание по центру;
- после рисунка перед подписью одна пустая строка одинарного интервала;
- строка подрисуночной подписи: одинарный интервал, без абзацного отступа, выравнивание по центру, запрет автоматического переноса слов (рисунок 17);

## Учебная практика



а)

б)

Рисунок 17 – Настройка абзаца для подрисуночной подписи

- после подписи ставится одна пустая строка одинарного интервала.

Подрисуночная подпись состоит из номера рисунка (слово «Рисунок» пишется с большой буквы и полностью) и названия рисунка. Номер и название разделяет длинное тире («горячая клавиша»: «Ctrl»+«Shift» + «-»). Точки в конце номера и в конце названия не ставятся. Подрисуночная надпись выполняется шрифтом Times New Roman 12.

Оси графиков должны быть подписаны:

- по оси абсцисс подпись ставится справа снизу от оси;
- по оси ординат – сверху слева от оси.

Подпись включает в себя обозначение переменной, значения которой откладываются по данной оси, и ее единице измерения (рисунок 18).

## Учебная практика

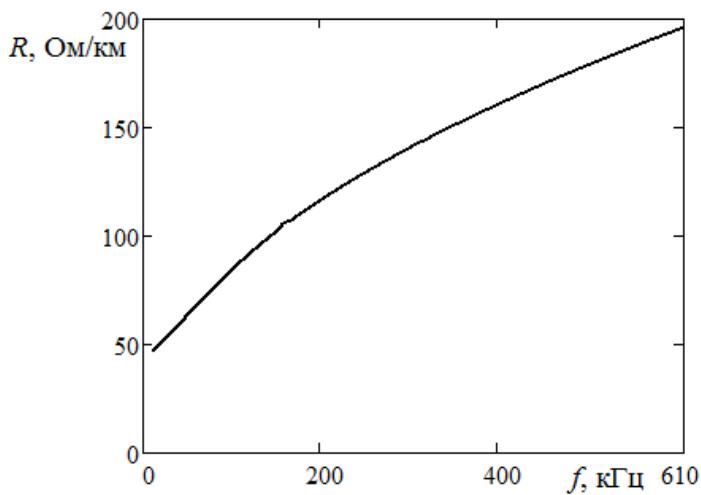


Рисунок 18 – Пример подписи осей

## ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

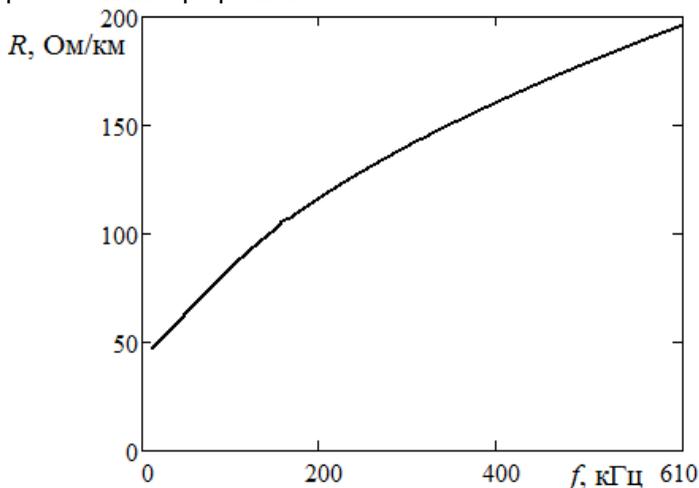
### Вариант 1

Подобрать вид функциональной зависимости сопротивления участка кабеля переменному току от частоты  $y=R(f)$  и индуктивности участка кабеля от частоты тока  $y=L(f)$  по данным натурального эксперимента. Данные натурального эксперимента приведены в таблице 1.

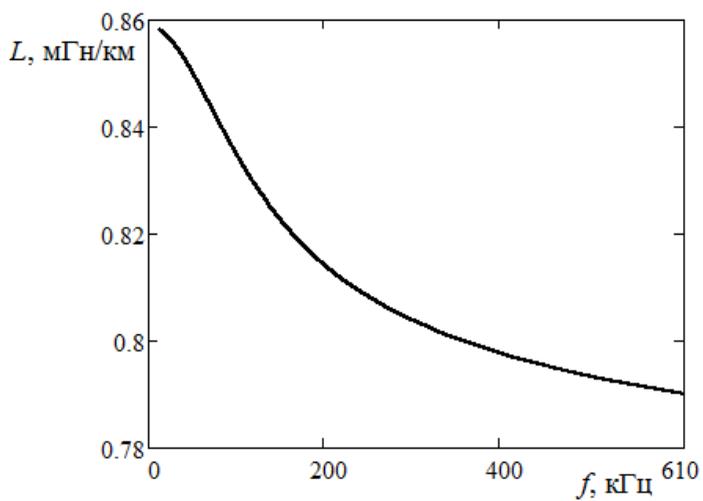
Таблица 1 - Экспериментальные данные

$f_j$ , кГц	10	50	90	130	170	210	250	290
$R$ , Ом/км	46,135	60,608	79,803	95,91	107,366	119,243	126,771	136,686
$L$ , мГн/км	0,859	0,85	0,838	0,827	0,819	0,813	0,808	0,804
$f_j$ , кГц	330	370	410	450	490	530	570	
$R$ , Ом/км	145,484	155,36	163,211	170,592	175,978	184,175	191,362	
$L$ , мГн/км	0,802	0,8	0,798	0,796	0,794	0,793	0,791	

Сравнить полученные функциональные зависимости с теоретическими графиками:



## Учебная практика



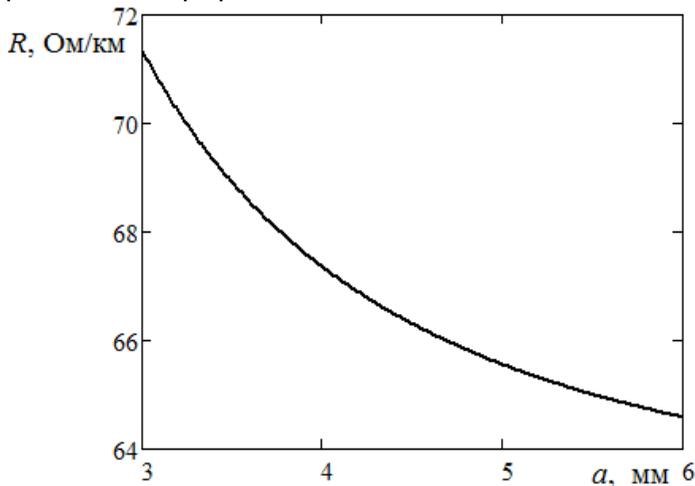
## Вариант 2

Подобрать вид функциональной зависимости сопротивления участка кабеля переменному току от расстояния между центрами пар проводников  $y = R(a)$  и индуктивности участка кабеля от расстояния между центрами пар проводников  $y = L(a)$  по данным натурального эксперимента. Данные натурального эксперимента приведены в таблице 1.

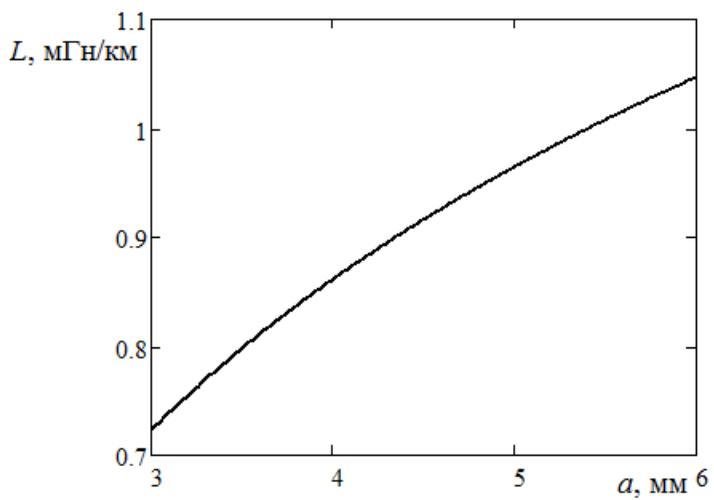
Таблица 1 - Экспериментальные данные

a, мм	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4	4,2	4,4
R, Ом/км	71,444	70,595	69,437	68,498	67,513	67,237	66,788	66,627
L, мГн/км	0,702	0,735	0,787	0,81	0,836	0,86	0,877	0,895
a, мм	4,6	4,8	5	5,2	5,4	5,6	5,8	
R, Ом/км	66,831	65,679	66,074	65,25	65,258	64,839	64,312	
L, мГн/км	0,923	0,934	0,961	0,993	0,98	1,01	1,044	

Сравнить полученные функциональные зависимости с теоретическими графиками:



## Учебная практика



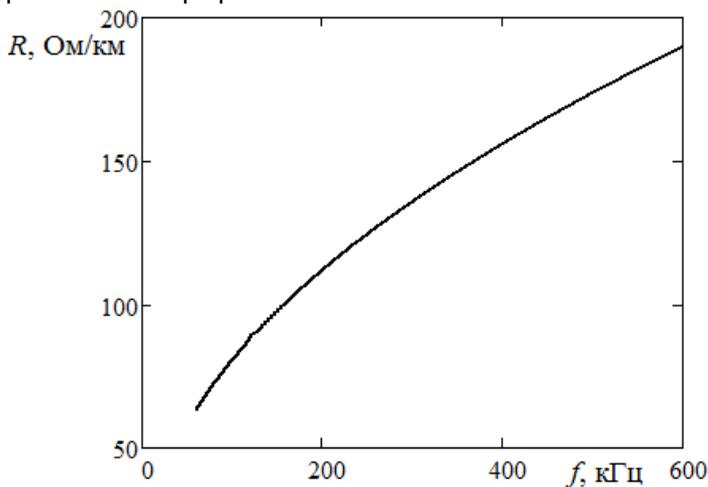
### Вариант 3

Подобрать вид функциональной зависимости сопротивления участка кабеля переменному току от частоты  $y = R(f)$  и индуктивности участка кабеля от частоты тока  $y = L(f)$  по данным натурального эксперимента. Данные натурального эксперимента приведены в таблице 1.

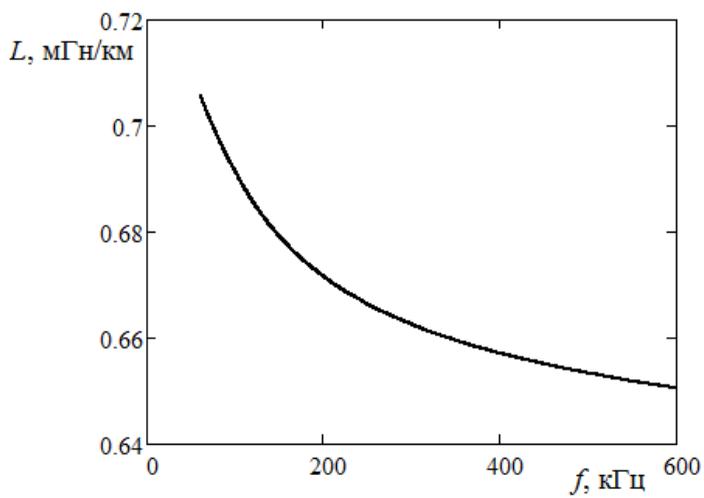
Таблица 1 - Экспериментальные данные

$f_i$ , кГц	60	96	132	168	204	240	276	312
$R_i$ , Ом/км	63,605	77,934	99,105	108,118	115,542	118,699	131,11	146,94
$L_i$ , мГн/км	0,7	0,689	0,69	0,677	0,669	0,663	0,661	0,664
$f_i$ , кГц	348	384	420	456	492	528	564	
$R_i$ , Ом/км	146,643	151,734	162,335	163,431	170,137	187,282	186,203	
$L_i$ , мГн/км	0,662	0,651	0,659	0,659	0,653	0,649	0,655	

Сравнить полученные функциональные зависимости с теоретическими графиками:



## Учебная практика



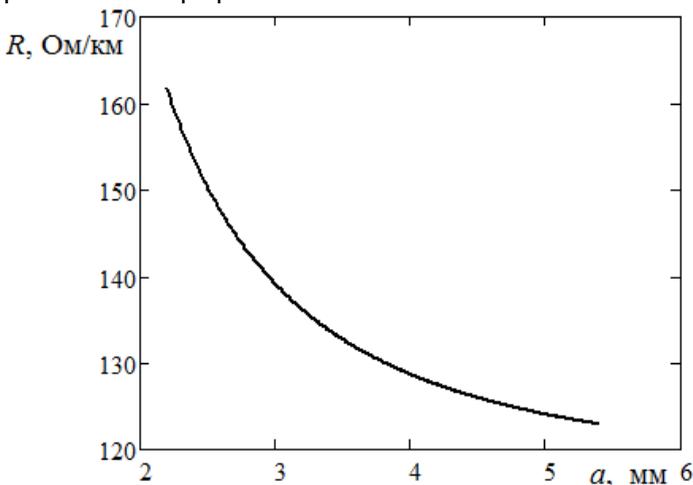
### Вариант 4

Подобрать вид функциональной зависимости сопротивления участка кабеля переменному току от расстояния между центрами пар проводников  $y = R(a)$  и индуктивности участка кабеля от расстояния между центрами пар проводников  $y = L(a)$  по данным натурального эксперимента. Данные натурального эксперимента приведены в таблице 1.

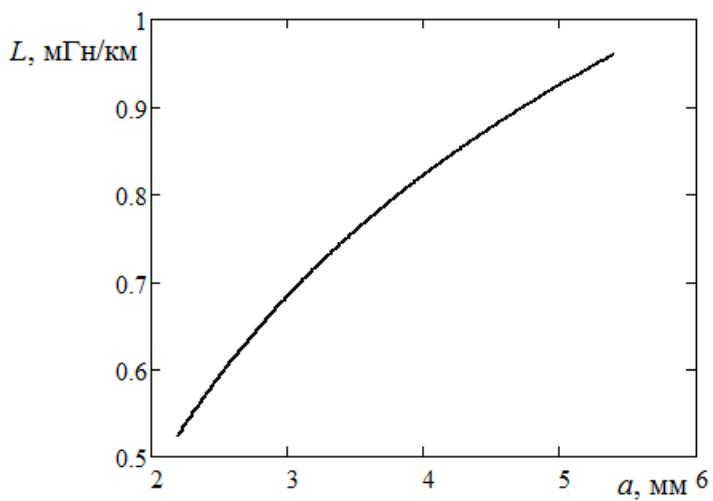
Таблица 1 - Экспериментальные данные

a, мм	2,2	2,41	2,62	2,83	3,04	3,25	3,46	3,67
R, Ом/км	159,686	151,698	146,542	141,911	140,521	134,33	132,181	130,843
L, мГн/км	0,539	0,587	0,585	0,66	0,714	0,701	0,755	0,774
a, мм	3,88	4,09	4,3	4,51	4,72	4,93	5,14	
R, Ом/км	133,053	127,894	126,242	125,092	122,508	125,175	125,198	
L, мГн/км	0,805	0,853	0,809	0,872	0,896	0,917	0,938	

Сравнить полученные функциональные зависимости с теоретическими графиками:



## Учебная практика



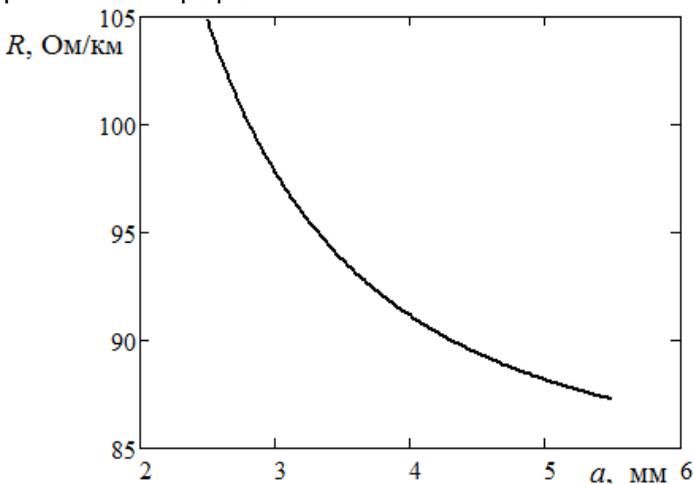
### Вариант 5

Подобрать вид функциональной зависимости сопротивления участка кабеля переменному току от расстояния между центрами пар проводников  $y = R(a)$  и индуктивности участка кабеля от расстояния между центрами пар проводников  $y = L(a)$  по данным натурального эксперимента. Данные натурального эксперимента приведены в таблице 1.

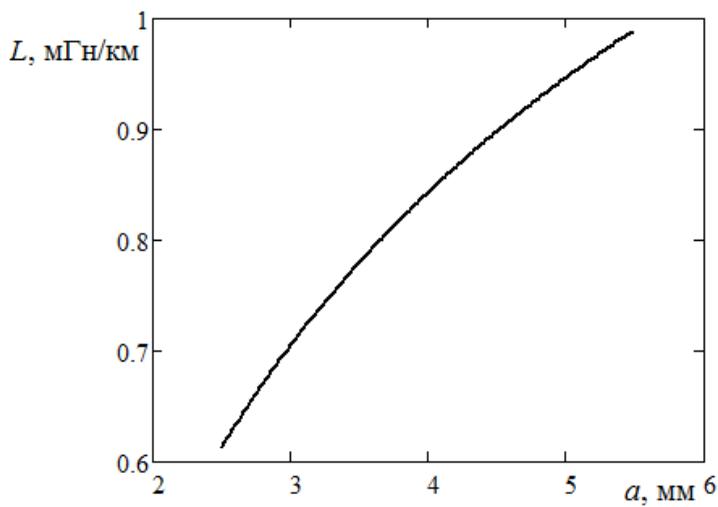
Таблица 1 - Экспериментальные данные

$a$ , мм	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	3,7	3,9
$R$ , Ом/км	104,271	101,696	98,605	96,974	95,304	94,275	92,161	91,461
$L$ , мГн/км	0,602	0,637	0,665	0,726	0,741	0,784	0,817	0,839
$a$ , мм	4,1	4,3	4,5	4,7	4,9	5,1	5,3	
$R$ , Ом/км	90,741	90,029	88,95	89,133	88,582	88,468	87,991	
$L$ , мГн/км	0,841	0,895	0,889	0,93	0,93	0,97	0,972	

Сравнить полученные функциональные зависимости с теоретическими графиками:



## Учебная практика



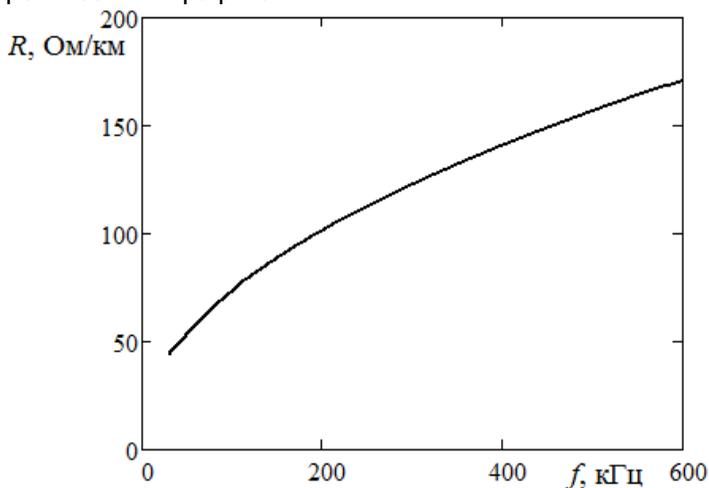
## Вариант 6

Подобрать вид функциональной зависимости сопротивления участка кабеля переменному току от частоты  $y = R(f)$  и индуктивности участка кабеля от частоты тока  $y = L(f)$  по данным натурального эксперимента. Данные натурального эксперимента приведены в таблице 1.

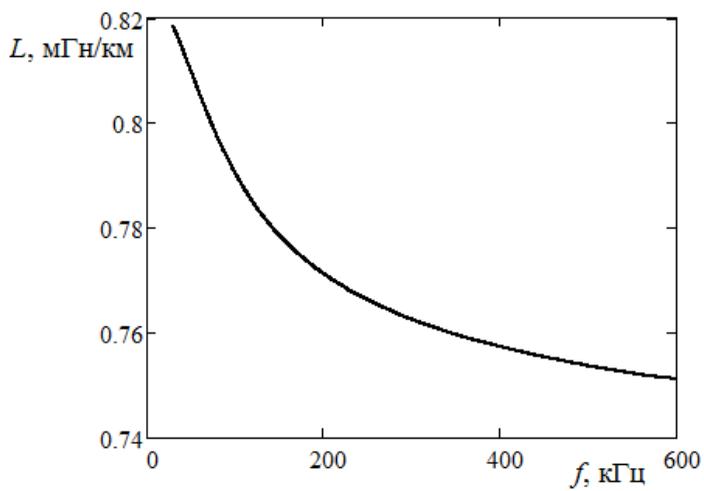
Таблица 1 - Экспериментальные данные

$f$ , кГц	30	68	106	144	182	220	258	296
$R$ , Ом/км	45,829	58,561	66,636	92,338	97,865	106,656	120,364	122,767
$L$ , мГн/км	0,811	0,804	0,793	0,78	0,772	0,773	0,763	0,768
$f$ , кГц	334	372	410	448	486	524	562	
$R$ , Ом/км	119,813	140,651	146,754	134,304	153,864	163,331	167,71	
$L$ , мГн/км	0,77	0,757	0,755	0,762	0,754	0,752	0,759	

Сравнить полученные функциональные зависимости с теоретическими графиками:



## Учебная практика



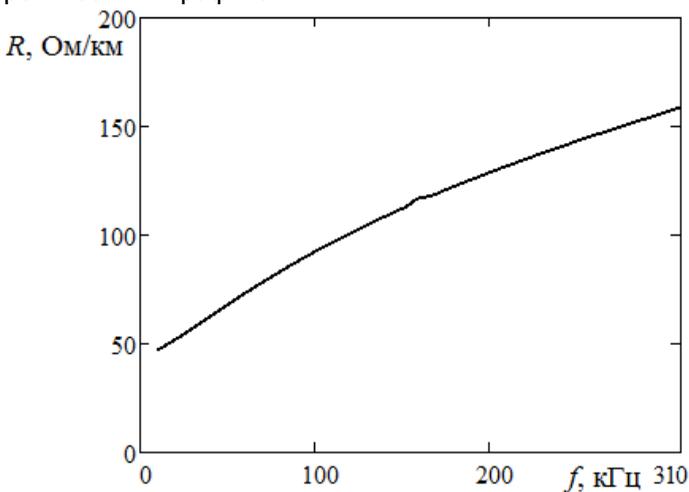
## Вариант 7

Подобрать вид функциональной зависимости сопротивления участка кабеля переменному току от частоты  $y = R(f)$  и индуктивности участка кабеля от частоты тока  $y = L(f)$  по данным натурального эксперимента. Данные натурального эксперимента приведены в таблице 1.

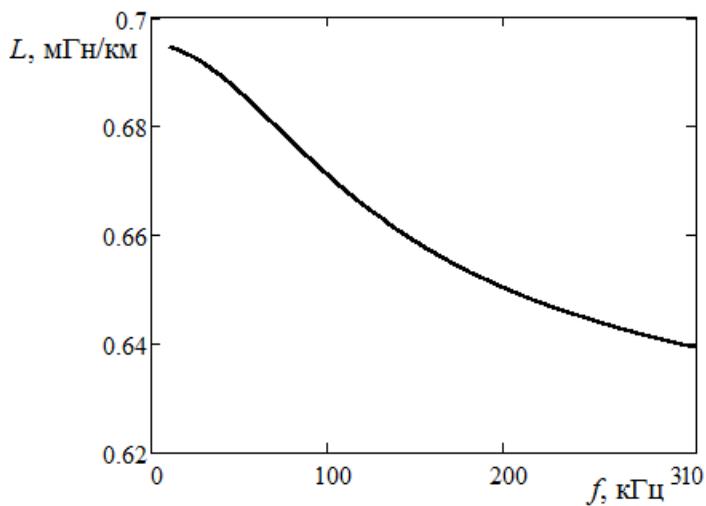
Таблица 1 - Экспериментальные данные

$f$ , кГц	10	30	50	70	90	110	130	150
$R$ , Ом/км	46,462	56,015	65,012	77,991	87,156	97,254	105,235	112,187
$L$ , мГн/км	0,693	0,691	0,686	0,681	0,674	0,669	0,664	0,659
$f$ , кГц	170	190	210	230	250	270	290	
$R$ , Ом/км	118,36	125,605	131,744	138,113	140,675	148,541	151,894	
$L$ , мГн/км	0,655	0,652	0,65	0,647	0,644	0,643	0,641	

Сравнить полученные функциональные зависимости с теоретическими графиками:



## Учебная практика



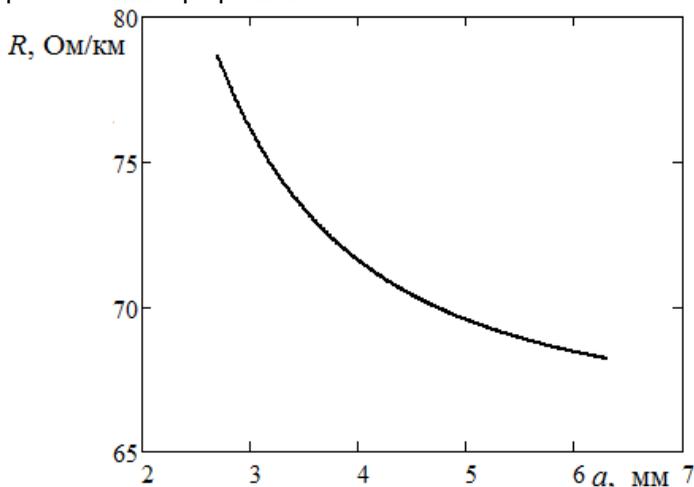
### Вариант 8

Подобрать вид функциональной зависимости сопротивления участка кабеля переменному току от расстояния между центрами пар проводников  $y = R(a)$  и индуктивности участка кабеля от расстояния между центрами пар проводников  $y = L(a)$  по данным натурального эксперимента. Данные натурального эксперимента приведены в таблице 1.

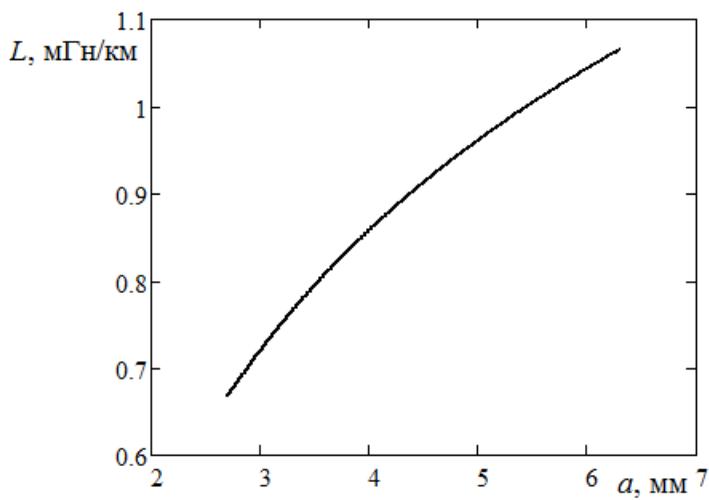
Таблица 1 - Экспериментальные данные

a, мм	2,7	2,93	3,16	3,39	3,62	3,85	4,08	4,31
R, Ом/км	79,047	77,363	76,357	74,78	74,625	70,956	70,688	71,303
L, мГн/км	0,663	0,725	0,74	0,822	0,769	0,841	0,913	0,871
a, мм	4,54	4,77	5	5,23	5,46	5,69	5,92	
R, Ом/км	69,998	69,935	70,144	68,824	69,503	69,729	66,629	
L, мГн/км	0,912	0,948	0,941	1,002	0,999	1,016	1,039	

Сравнить полученные функциональные зависимости с теоретическими графиками:



## Учебная практика



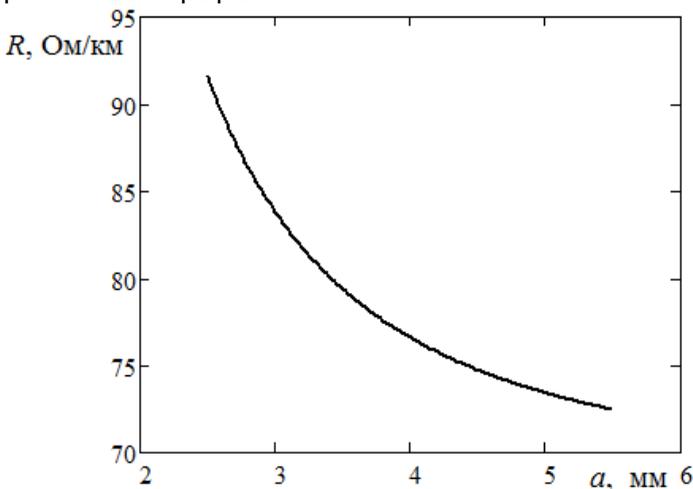
## Вариант 9

Подобрать вид функциональной зависимости сопротивления участка кабеля переменному току от расстояния между центрами пар проводников  $y = R(a)$  и индуктивности участка кабеля от расстояния между центрами пар проводников  $y = L(a)$  по данным натурального эксперимента. Данные натурального эксперимента приведены в таблице 1.

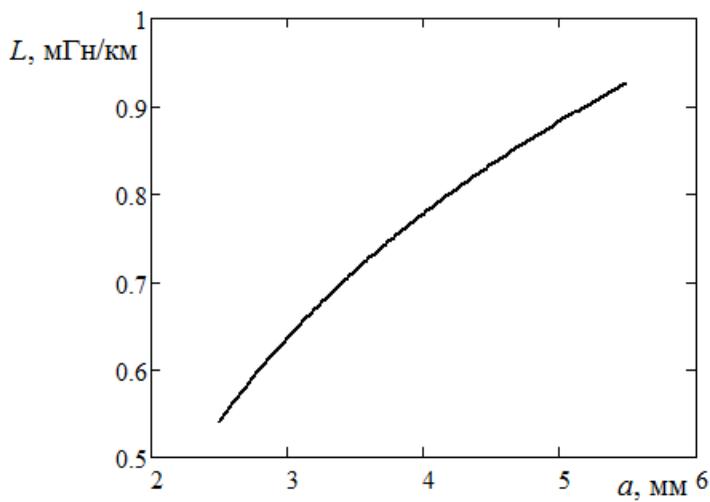
Таблица 1 - Экспериментальные данные

a, мм	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	3,7	3,9
R, Ом/км	91,316	88,276	85,523	82,93	81,223	79,157	78,086	76,51
L, мГн/км	0,568	0,569	0,622	0,649	0,686	0,686	0,755	0,773
a, мм	4,1	4,3	4,5	4,7	4,9	5,1	5,3	
R, Ом/км	75,87	74,972	75,021	73,777	72,785	73,159	73,066	
L, мГн/км	0,789	0,814	0,85	0,855	0,891	0,883	0,93	

Сравнить полученные функциональные зависимости с теоретическими графиками:



## Учебная практика



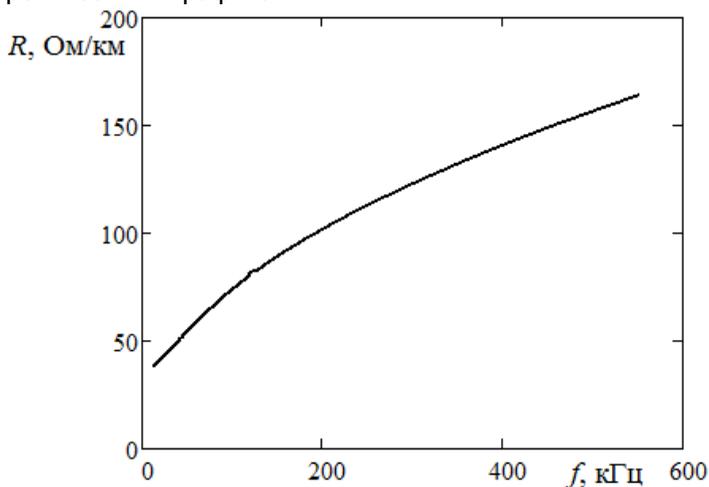
### Вариант 10

Подобрать вид функциональной зависимости сопротивления участка кабеля переменному току от частоты  $y = R(f)$  и индуктивности участка кабеля от частоты тока  $y = L(f)$  по данным натурального эксперимента. Данные натурального эксперимента приведены в таблице 1.

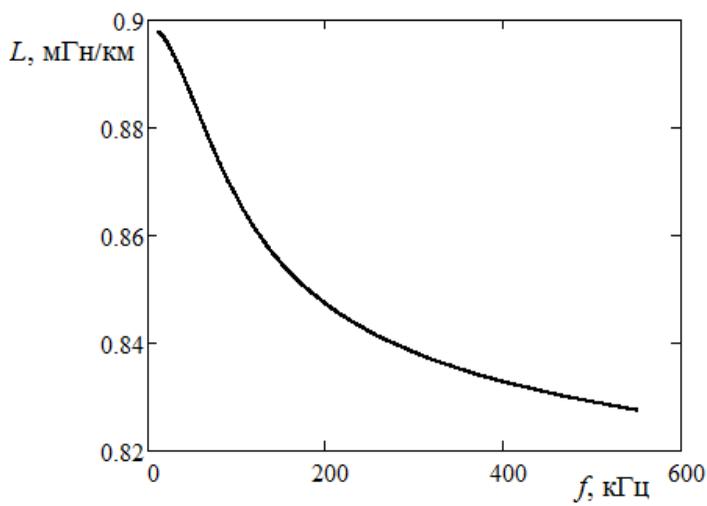
Таблица 1 - Экспериментальные данные

$f$ , кГц	12	48	84	120	156	192	228	264
$R$ , Ом/км	41,361	47,106	60,827	97,945	79,093	99,129	118,187	109,673
$L$ , мГн/км	0,892	0,882	0,87	0,858	0,854	0,842	0,847	0,842
$f$ , кГц	300	336	372	408	444	480	516	
$R$ , Ом/км	117,135	122,626	122,56	134,924	151,235	144,09	159,324	
$L$ , мГн/км	0,836	0,839	0,835	0,834	0,827	0,83	0,825	

Сравнить полученные функциональные зависимости с теоретическими графиками:



## Учебная практика



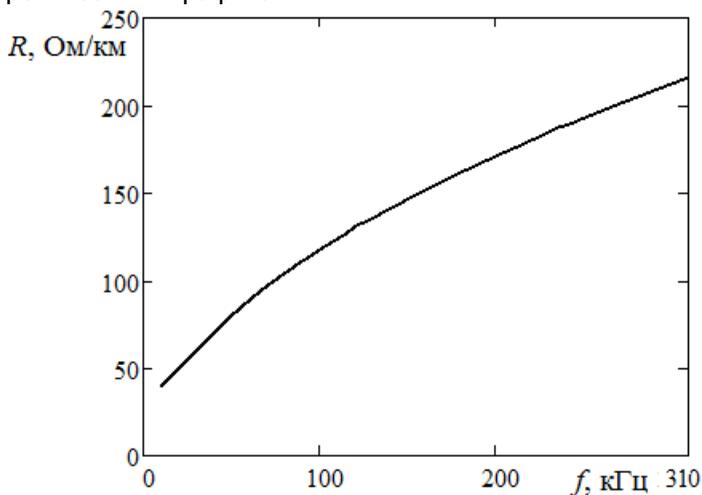
### Вариант 11

Подобрать вид функциональной зависимости сопротивления участка кабеля переменному току от частоты  $y = R(f)$  и индуктивности участка кабеля от частоты тока  $y = L(f)$  по данным натурального эксперимента. Данные натурального эксперимента приведены в таблице 1.

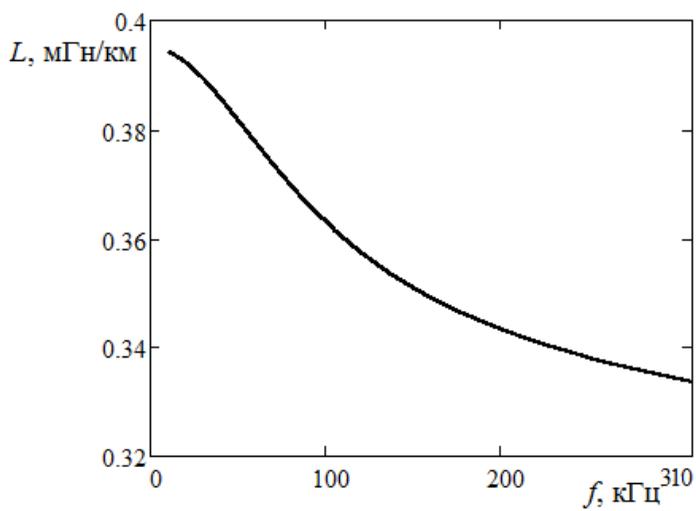
Таблица 1 - Экспериментальные данные

$f$ , кГц	10	30	50	70	90	110	130	150
$R$ , Ом/км	38,744	59,355	79,596	95,691	110,213	123,411	137,257	146,442
$L$ , мГн/км	0,394	0,389	0,382	0,374	0,367	0,361	0,355	0,351
$f$ , кГц	170	190	210	230	250	270	290	
$R$ , Ом/км	155,747	165,129	176,229	182,718	191,314	197,641	207,806	
$L$ , мГн/км	0,347	0,345	0,341	0,341	0,337	0,336	0,335	

Сравнить полученные функциональные зависимости с теоретическими графиками:



## Учебная практика



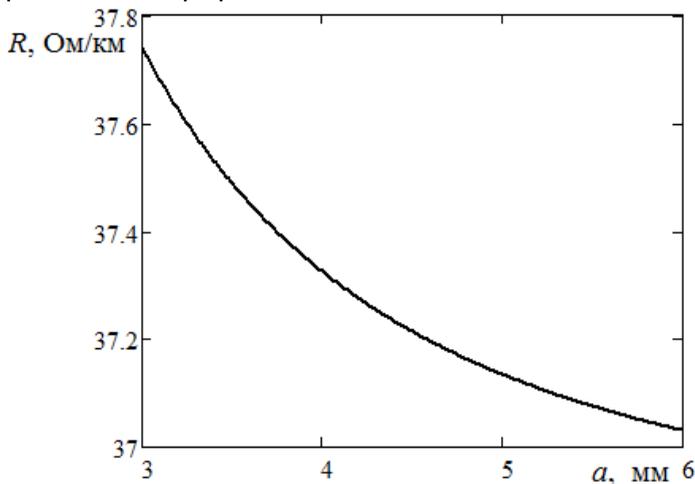
## Вариант 12

Подобрать вид функциональной зависимости сопротивления участка кабеля переменному току от расстояния между центрами пар проводников  $y = R(a)$  и индуктивности участка кабеля от расстояния между центрами пар проводников  $y = L(a)$  по данным натурального эксперимента. Данные натурального эксперимента приведены в таблице 1.

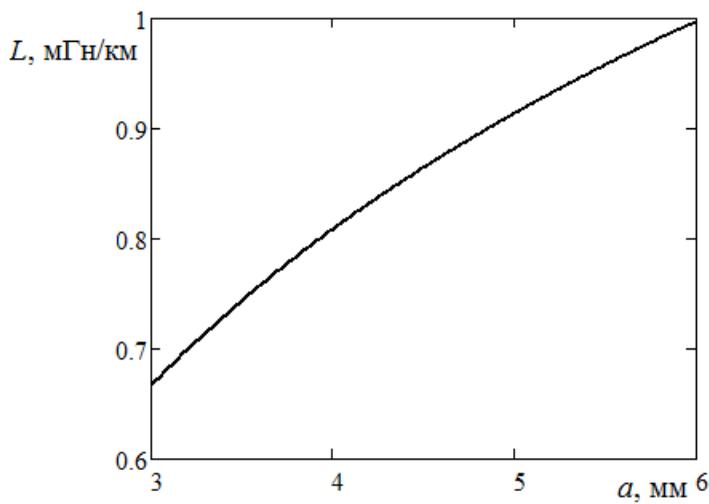
Таблица 1 - Экспериментальные данные

$a$ , мм	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4	4,2	4,4
$R$ , Ом/км	37,685	37,634	37,56	37,44	37,385	37,305	37,252	37,223
$L$ , мГн/км	0,679	0,706	0,727	0,748	0,787	0,802	0,826	0,842
$a$ , мм	4,6	4,8	5	5,2	5,4	5,6	5,8	
$R$ , Ом/км	37,22	37,129	37,151	37,084	37,093	37,093	37,039	
$L$ , мГн/км	0,865	0,892	0,922	0,934	0,941	0,958	0,988	

Сравнить полученные функциональные зависимости с теоретическими графиками:



Учебная практика



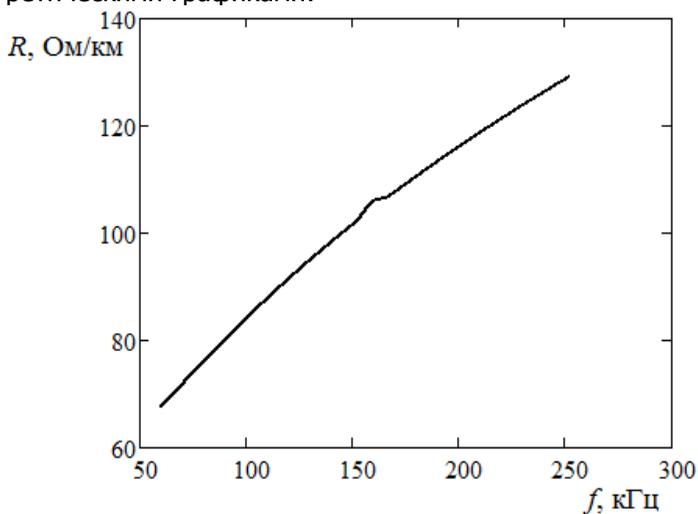
### Вариант 13

Подобрать вид функциональной зависимости сопротивления участка кабеля переменному току от частоты  $y = R(f)$  и индуктивности участка кабеля от частоты тока  $y = L(f)$  по данным натурального эксперимента. Данные натурального эксперимента приведены в таблице 1.

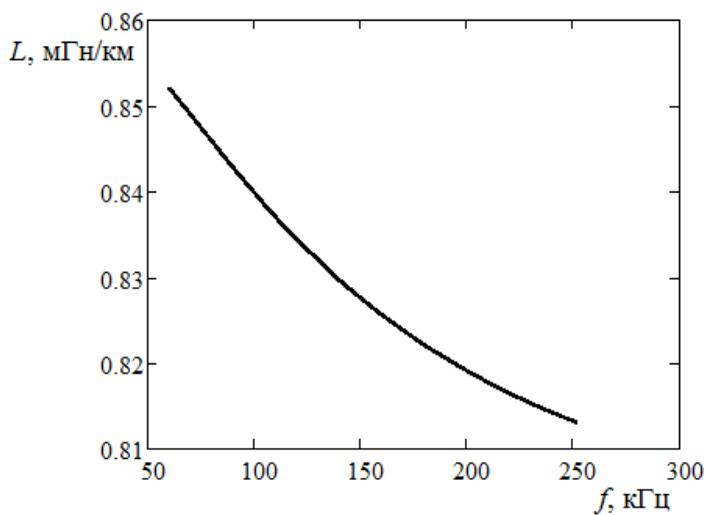
Таблица 1 - Экспериментальные данные

$f$ , кГц	60	72,8	85,6	98,4	111,2	124	136,8	149,6
$R$ , Ом/км	68,626	72,198	78,317	78,908	86,693	87,888	97,354	104,517
$L$ , мГн/км	0,851	0,849	0,846	0,838	0,833	0,827	0,83	0,824
$f$ , кГц	162,4	175,2	188	200,8	213,6	226,4	239,2	
$R$ , Ом/км	97,798	106,343	115,491	107,357	119,466	114,745	129,511	
$L$ , мГн/км	0,828	0,822	0,822	0,821	0,813	0,81	0,813	

Сравнить полученные функциональные зависимости с теоретическими графиками:



## Учебная практика



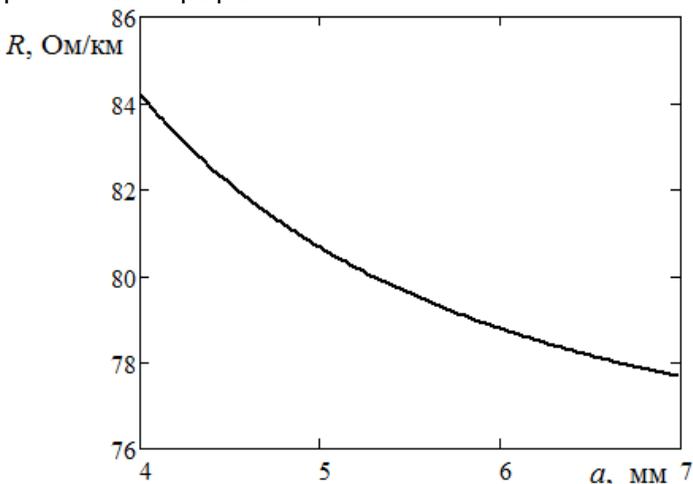
### Вариант 14

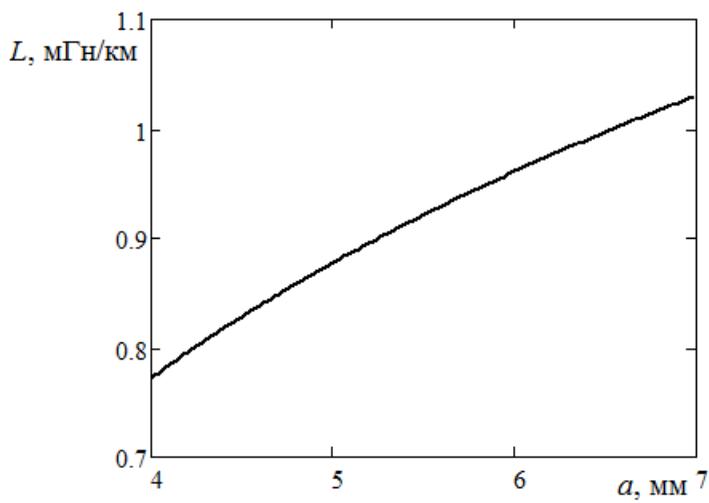
Подобрать вид функциональной зависимости сопротивления участка кабеля переменному току от расстояния между центрами пар проводников  $y = R(a)$  и индуктивности участка кабеля от расстояния между центрами пар проводников  $y = L(a)$  по данным натурального эксперимента. Данные натурального эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Экспериментальные данные

$a$ , мм	4	4,2	4,4	4,6	4,8	5	5,2	5,4
$R$ , Ом/км	84,325	82,913	82,658	82,32	81,552	81,101	80,194	79,472
$L$ , мГн/км	0,766	0,835	0,816	0,837	0,836	0,871	0,897	0,901
$a$ , мм	5,6	5,8	6	6,2	6,4	6,6	6,8	
$R$ , Ом/км	79,401	79,128	79,655	78,467	78,636	77,807	77,924	
$L$ , мГн/км	0,934	0,988	0,965	0,984	0,96	1,012	1,016	

Сравнить полученные функциональные зависимости с теоретическими графиками:





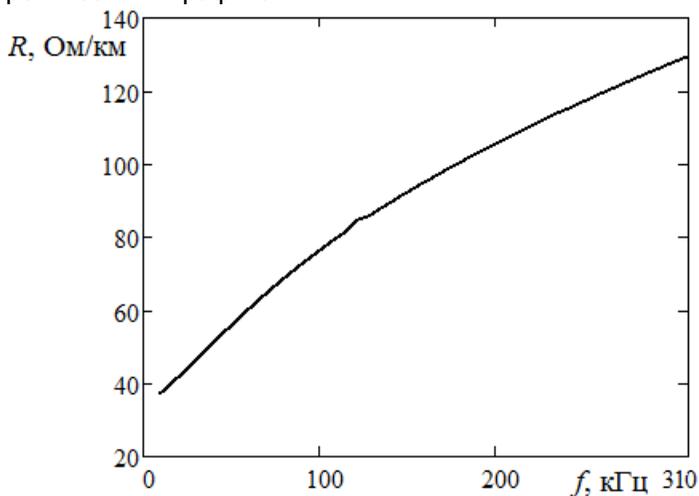
## Вариант 15

Подобрать вид функциональной зависимости сопротивления участка кабеля переменному току от частоты  $y = R(f)$  и индуктивности участка кабеля от частоты тока  $y = L(f)$  по данным натурального эксперимента. Данные натурального эксперимента приведены в таблице 1.

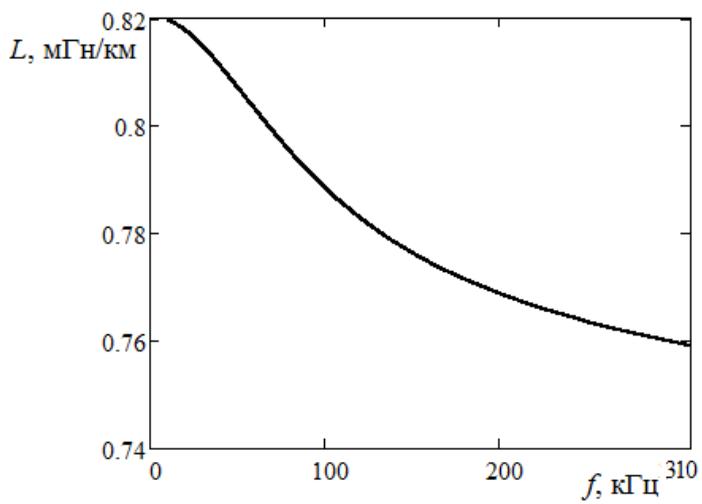
Таблица 1 - Экспериментальные данные

$f$ , кГц	10	30	50	70	90	110	130	150
$R$ , Ом/км	38,021	48,206	55,745	62,903	73,491	76,081	87,297	92,42
$L$ , мГн/км	0,82	0,815	0,808	0,8	0,791	0,786	0,78	0,776
$f$ , кГц	170	190	210	230	250	270	290	
$R$ , Ом/км	96,172	104,847	105,064	111,889	116,678	120,823	122,151	
$L$ , мГн/км	0,773	0,771	0,767	0,765	0,763	0,762	0,761	

Сравнить полученные функциональные зависимости с теоретическими графиками:



## Учебная практика



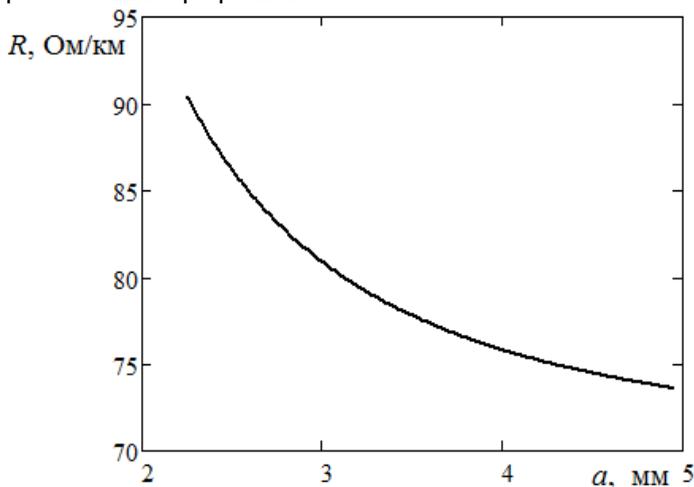
## Вариант 16

Подобрать вид функциональной зависимости сопротивления участка кабеля переменному току от расстояния между центрами пар проводников  $y = R(a)$  и индуктивности участка кабеля от расстояния между центрами пар проводников  $y = L(a)$  по данным натурального эксперимента. Данные натурального эксперимента приведены в таблице 1.

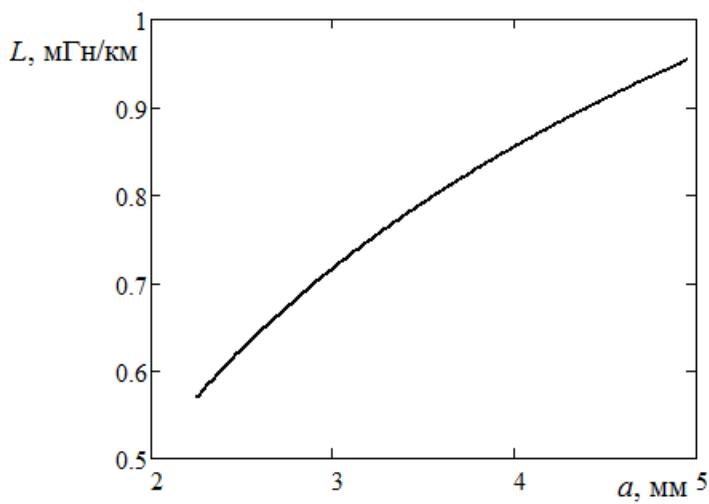
Таблица 1 - Экспериментальные данные

$a$ , мм	2,25	2,43	2,61	2,79	2,97	3,15	3,33	3,51
$R$ , Ом/км	91,673	86,838	84,634	82,139	79,997	80,172	79,925	77,379
$L$ , мГн/км	0,58	0,642	0,663	0,689	0,709	0,702	0,803	0,804
$a$ , мм	3,69	3,87	4,05	4,23	4,41	4,59	4,77	
$R$ , Ом/км	75,811	76,45	74,209	76,31	72,9	74,145	74,056	
$L$ , мГн/км	0,79	0,854	0,929	0,901	0,914	0,91	0,891	

Сравнить полученные функциональные зависимости с теоретическими графиками:



## Учебная практика



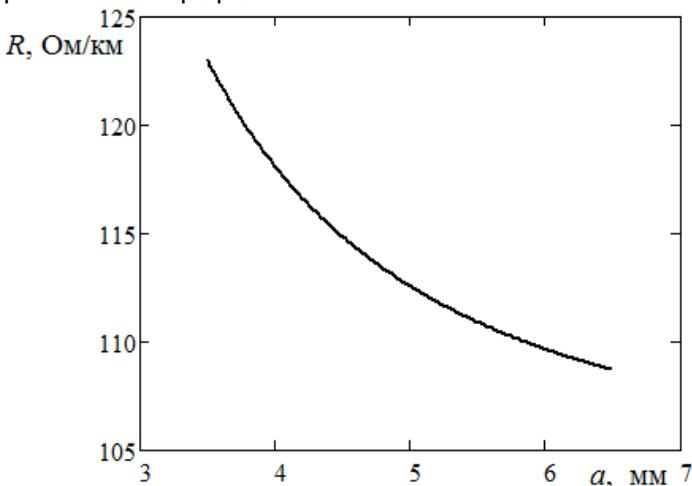
### Вариант 17

Подобрать вид функциональной зависимости сопротивления участка кабеля переменному току от расстояния между центрами пар проводников  $y = R(a)$  и индуктивности участка кабеля от расстояния между центрами пар проводников  $y = L(a)$  по данным натурального эксперимента. Данные натурального эксперимента приведены в таблице 1.

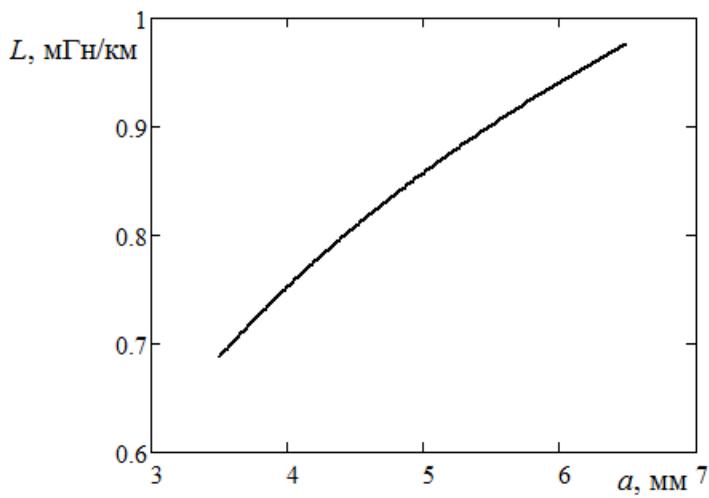
Таблица 1 - Экспериментальные данные

a, мм	3,5	3,7	3,9	4,1	4,3	4,5	4,7	4,9
R, Ом/км	121,827	121,344	119,761	117,851	115,882	116,749	113,717	112,007
L, мГн/км	0,681	0,706	0,722	0,778	0,786	0,802	0,854	0,85
a, мм	5,1	5,3	5,5	5,7	5,9	6,1	6,3	
R, Ом/км	114,113	111,16	109,981	110,959	109,713	108,571	109,331	
L, мГн/км	0,881	0,889	0,912	0,953	0,936	0,979	0,976	

Сравнить полученные функциональные зависимости с теоретическими графиками:



## Учебная практика



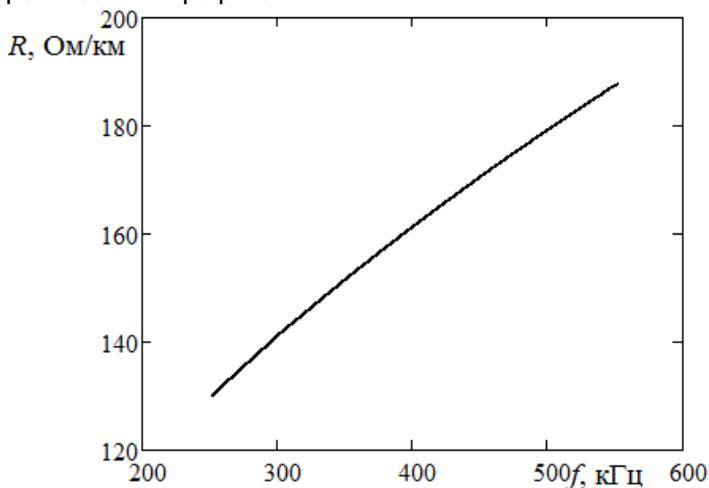
## Вариант 18

Подобрать вид функциональной зависимости сопротивления участка кабеля переменному току от частоты  $y = R(f)$  и индуктивности участка кабеля от частоты тока  $y = L(f)$  по данным натурального эксперимента. Данные натурального эксперимента приведены в таблице 1.

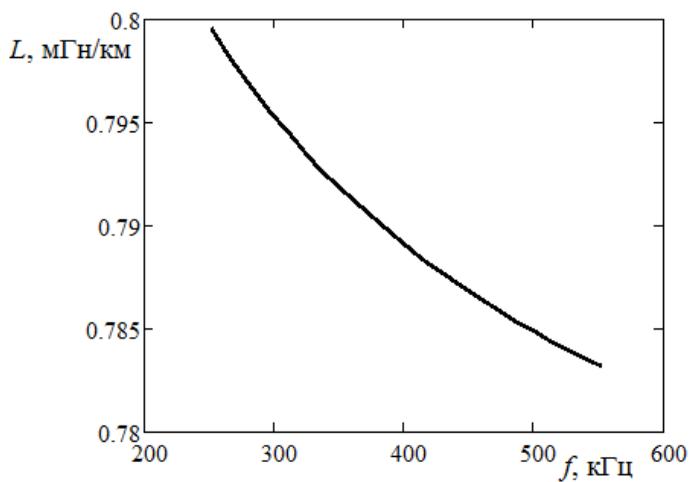
Таблица 1 - Экспериментальные данные

$f$ , кГц	252	272	292	312	332	352	372	392
$R$ , Ом/км	126,485	142,171	140,293	141,063	146,584	158,365	154,756	155,239
$L$ , мГн/км	0,801	0,798	0,798	0,795	0,794	0,791	0,79	0,792
$f$ , кГц	412	432	452	472	492	512	532	
$R$ , Ом/км	163,616	162,177	171,978	172,179	175,386	180,968	184,964	
$L$ , мГн/км	0,789	0,788	0,787	0,787	0,786	0,784	0,784	

Сравнить полученные функциональные зависимости с теоретическими графиками:



## Учебная практика



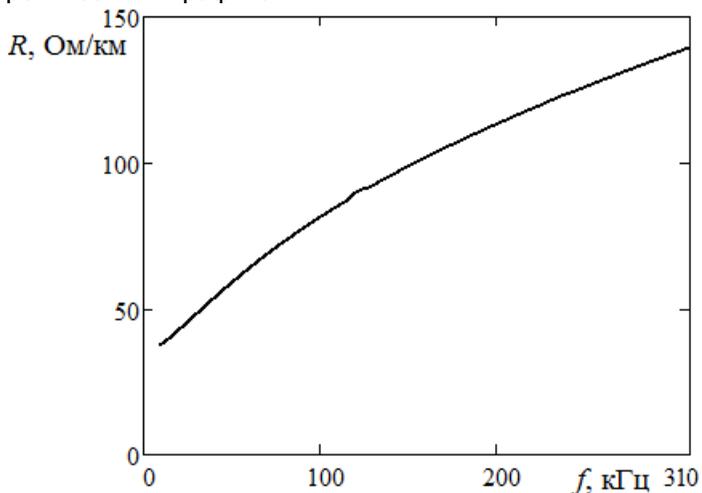
### Вариант 19

Подобрать вид функциональной зависимости сопротивления участка кабеля переменному току от частоты  $y = R(f)$  и индуктивности участка кабеля от частоты тока  $y = L(f)$  по данным натурального эксперимента. Данные натурального эксперимента приведены в таблице 1.

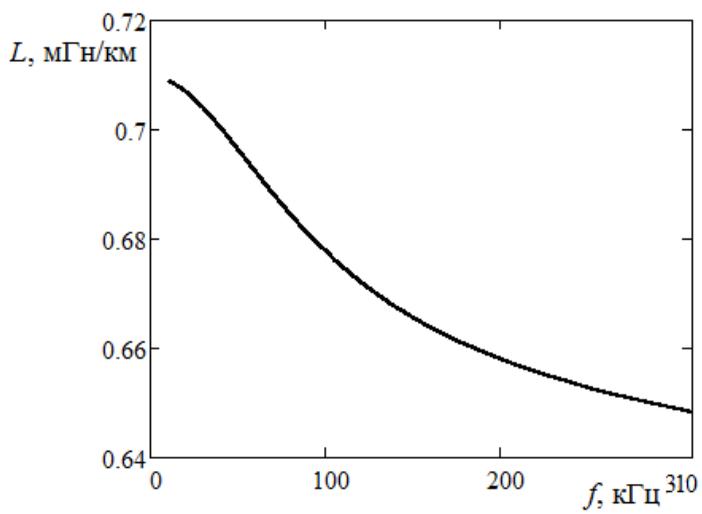
Таблица 1 - Экспериментальные данные

$f$ , кГц	10	30	50	70	90	110	130	150
$R$ , Ом/км	34,038	48,885	57,205	66,797	77,054	85,361	92,868	98,465
$L$ , мГн/км	0,709	0,706	0,697	0,685	0,679	0,674	0,668	0,668
$f$ , кГц	170	190	210	230	250	270	290	
$R$ , Ом/км	104,426	112,205	112,753	123,68	123,773	129,449	133,339	
$L$ , мГн/км	0,66	0,659	0,657	0,657	0,654	0,65	0,65	

Сравнить полученные функциональные зависимости с теоретическими графиками:



## Учебная практика



**ШАБЛОН ОТЧЕТА**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ДГТУ)**  
Кафедра «Радиоэлектроника»

**ОТЧЕТ**

по учебной практике \_\_\_\_\_

Вариант № \_\_\_\_\_

Отчет выполнил студент курса \_\_\_\_\_ группы \_\_\_\_\_

номер

название

подпись

Фамилия И.О.

Отчет проверил \_\_\_\_\_

ученое звание, ученая должность

Фамилия И.О.

Оценка \_\_\_\_\_

оценка или отметка о сдаче

подпись

г. Ростов-на-Дону  
2016

**1 Исходные данные**

$R$ , Ом/км								
$L$ , мГн/км								
$R$ , Ом/км								
$L$ , мГн/км								

**2 Результат работы**

2.1 Зависимость сопротивления от \_\_\_\_\_

Функции, входящие в линейную комбинацию:

---



---



---



---



---

Значения коэффициентов в линейной комбинации:

Вид линейной комбинации

2.2 Зависимость индуктивности от \_\_\_\_\_

Вид функциональной зависимости

Частные производные по неизвестным коэффициентам:

---



---



---

## Учебная практика

Начальное приближение коэффициентов:

$a_0$	$a_1$	$a_2$

Найденные значения коэффициентов:

$a_0$	$a_1$	$a_2$

Окончательный вид функциональной зависимости:

**3 Графики<sup>1</sup>**3.1 Зависимость сопротивления от \_\_\_\_\_  
и данные эксперимента.3.2 Зависимость сопротивления от \_\_\_\_\_  
и теоретическая кривая (оцифрованный график).3.3 Зависимость индуктивности от \_\_\_\_\_  
и данные эксперимента.3.2 Зависимость индуктивности от \_\_\_\_\_  
и теоретическая кривая (оцифрованный график).

---

<sup>1</sup> Графики прилагаются на следующем листе. Номера графиков совпадают с приведенными на этой странице.