

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра «Информационно-измерительная техника»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой, д.т.н., проф.
_____/А.Л. Шестаков/
« ____ » _____ 2018 г.

Модификация метода обработки данных косвенных измерений

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР

Руководитель, к.т.н., доц. каф. ИнИТ:
_____/Е.В. Юрасова/
« ____ » _____ 2018 г.

Автор
студент группы КЭ-476
_____/Е.А. Макарова/
« ____ » _____ 2018 г.

Нормоконтролер, к.т.н., доц. каф. ИнИТ
_____/А.С. Волосников/
« ____ » _____ 2018 г.

АННОТАЦИЯ

Макарова Е.А. Модификация метода обработки данных косвенных измерений— Челябинск: ЮУрГУ, КЭ-476; 2018, с., 24 ил., библиогр. список – 37 наим., 1 прил.

Повышение достоверности оценки результата косвенных измерений требует снижения погрешности, поэтому разработка новых математических моделей оценки погрешности косвенных измерений является актуальным вопросом исследований. Это вполне объяснимо, поскольку недостоверные результаты измерений могут привести к нештатным, а порой и аварийным ситуациям на объектах.

В выпускной квалификационной работе были выполнены следующие задачи:

1. Информационный поиск источников. Изучены современные методы обработки данных косвенных измерений.
2. Проведен измерительный эксперимент для накопления данных.
3. Разработан модифицированный метод обработки данных косвенных измерений.
4. Разработано программное обеспечение модифицированного метода.

					ЮУрГУ – 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Макарова			Модификация метода обработки данных косвенных измерений	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Юрасова					4	
Н. Контр.		Волосников			ЮУрГУ Кафедра ИнИТ			
Утверд.		Лапин						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР	9
1.1 Методы обработки данных косвенных измерений	9
1.2 Использование MATLAB при создании программного обеспечения ...	18
2. МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ	33
2.1 Традиционный (линеаризации) метод обработки результатов косвенных измерений.....	33
2.2 Модификация традиционного (линеаризации) метода обработки результатов косвенных измерений	36
3 ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ИЗМЕРЕНИЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЕМКОСТИ ..	40
3.1 Резонансный метод измерения.....	40
3.2 Оборудование экспериментального стенда	44
3.3 Методика выполнения измерений	49
3.3.1. Область применения.....	49
3.3.2. Нормативные документы	50
3.3.3. Термины и определения	50
3.3.4. Обозначения и сокращения	51
3.3.5. Условия проведения измерений	52
3.3.6. Метод измерения	54
3.3.7. Применяемые средства измерения.....	56
3.3.8. Подготовка к измерениям и их проведение	58
3.3.9. Обработка результатов измерений.....	59
3.4 Получение экспериментальных данных измерения аргумента косвенного измерения.....	60

					ЮУрГУ - 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

3.5 Нахождение результата измерения аргумента	63
4 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ.....	72
4.1. Описание программы по ГОСТ 19.402-78	72
4.1.1. Общие сведения	72
4.1.2 Программное обеспечение, необходимое для функционирования программы.....	72
4.1.3 Языки программирования, на которых написана программа.....	72
4.2. Функциональное назначение.....	72
4.2.1 Классы решаемых задач.....	72
4.2.2 Сведения о функциональных ограничениях	73
4.3. Описание логической структуры.....	73
4.3.1 Алгоритм программы	73
4.3.2 Структура программы с описанием функций составных частей и связи между ними.....	75
4.3.3 Связи программы с другими программами.....	75
4.4 Используемые технические средства.	75
4.4.1 Вызов и загрузка	76
4.4.2 Входные данные.....	79
4.4.3 Выходные данные	79
4.5 Руководство оператора по ГОСТ 19.505-79.....	79
4.5.1 Назначение программы	79
4.5.2 Условия выполнения программы.....	79
4.5.3 Выполнение программы.....	80
4.5.4. Загрузка программы	80
4.5.5. Запуск и выполнение программы.....	81
4.5.6. Завершение работы.....	83

4.6 Руководство программиста по ГОСТ 19.503-79.....	83
4.6.1 Общие сведения о программе.....	83
4.6.2 Структура программы с описанием функций составных частей и связи между ними.....	83
4.6.3 Связи программы с другими программами.....	84
4.6.4 Используемые технические средства	84
4.6.5 Проверка программы и системные сообщения программисту	84
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	85
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	86
ПРИЛОЖЕНИЕ А	91

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Косвенные измерения широко применяются в технических системах при решении задач диагностики и управления [1]. Системы диагностики используют преобразователи при формировании баз данных [2]. «Получение необходимой измерительной информации с минимальными или ограниченными материальными и временными затратами требует внимательного подхода к подготовке и проведению эксперимента при измерении физических величин, особенно косвенным способом.» Особую значимость это приобретает при постановке сложных дорогостоящих экспериментов. В связи с этим при подготовке измерительного эксперимента прежде всего решается вопрос о повышении достоверности результата измерений. Впервые этот вопрос был поднят в работах Чуновкина, Слаева «Повышение качества измерений планированием измерительной процедуры».

«Прямое измерение – измерение, при котором искомое значение величины получают непосредственно от средства измерений» [17].

Прямые измерения более простые и сразу приводят к результату измерения, поэтому они имеют преимущественное распространения, однако в ряде случаев прямые измерения не могут быть осуществлены так как дорогое оборудования не всегда позволяет это сделать. Поэтому зачастую на крупных используют косвенные измерения, что позволяет сократить финансовые затраты.

«Косвенные измерения – измерение, при котором искомое значение величины определяют на основании результатов прямых измерений других величин, функционально связанных с искомой величиной» [11].

Применение косвенных методов измерений часто позволяет удешевить измерительную установку, упростить метод измерений, но в то же время косвенные измерения требуют более тонкого подхода к обработке.

Формирование теории косвенных измерений как самостоятельного раздела метрологии началось в нашей стране в конце 70-х годов. Существенный вклад в

					ЮУрГУ - 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

развитие данной теории внесли С.М Сидоров, Г.И. Солопченко, В.В. Леонов, В.А. Грановский, Г.И. Мурманский, В.М. Хрумало, Г.И. Василенко, А.Н. Тихонов, А.Ф. Верланд, Ю.Е. Воскобойников.

Обработка результатов измерений – обработка измерительной информации с целью получения достоверных оценок результата измерения [1].

Целью обработки измерительной информации состоит из установления значения измеряемой величины и оценки погрешности полученного результата измерения.

Результат измерения – значение величины, полученное после обработки результатов наблюдений.

Как известно на погрешность результата измерений оказывают влияние ряд факторов: применяемый метод измерений, инструментальная погрешность средства измерений, факторы окружающей среды, квалификация оператора, выполняющего измерительную процедуру и последующую обработку полученных результатов.

Цель выпускной квалификационной работы является повышение достоверности оценки результата косвенных измерений.

Задачи выпускной квалификационной работы:

1. Провести информационный поиск источников. Изучить современные методы обработки данных косвенных измерений.
2. Провести измерительный эксперимент для накопления данных.
3. Разработать модифицированный метод обработки данных косвенных измерений.
4. Разработать ПО модифицированного метода.

					ЮУрГУ - 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

1.1 Методы обработки данных косвенных измерений

Существуют [1-5] различные методы обработки данных косвенных измерений. Рассмотрим метод, в котором повышается достоверность оценивания погрешности

В [1] метод Монте-Карло – это численный метод решения математических задач, в том числе по обработке данных косвенных измерений, при помощи моделирования случайных величин [21].

Суть метода состоит в генерации случайных чисел с требуемым законом распределения и вычислении того или иного момента, зависящего от значений случайной величины. Пусть требуется вычислить некоторое значение α . Для его вычисления вводят такую случайную величину X чтобы ее математическое ожидание было:

$$\alpha = MX. \quad (1.1.1)$$

Далее проводим несколько испытаний, результат в качестве оценки неизвестной берется среднее арифметическое значений X_i [6].

Из генеральной совокупности с генеральным средним α делается выборка из объектов и неизвестное значение α оценивается как выборочное среднее. Если генеральная совокупность имеет нормальное распределение, то на основании интервальных оценок мы можем определить доверительный интервал, который показывает неизвестное α с вероятностью γ :

$$P(|x - \alpha| < \delta) = \gamma. \quad (1.1.2)$$

Если среднее квадратическое отклонение σ нормального распределения генеральной совокупности известно, то доверительный интервал:

$$\delta = \frac{t\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (1.1.3)$$

где t – аргумент функции Лапласа в уравнении:

$$\Phi(t) = \frac{\gamma}{2}. \quad (1.1.4)$$

Когда σ неизвестно, то в качестве него берут выборочное СКО и доверительный интервал вычисляется по (16), но только величина t определяется из распределения Стьюдента. Если выборка объемом более 30 – можно пользоваться указанными формулами, причем различие между ними становится несущественным.

Для разрывания случайной величины используют компьютерные генераторы случайных чисел. Строго говоря, они не являются генераторами истинно случайных чисел, поскольку через некоторой, пускай и достаточно большой период, они будут повторяться. Поэтому иногда говорят о псевдослучайных числах [21].

Обычно генератор выдает случайные числа ξ с равномерным распределением в диапазоне от 0 до 1. Если требуется другой диапазон, то делают линейное преобразование:

$$x = \alpha\xi + b. \quad (1.1.5)$$

Эти случайные числа имеют так же равномерное распределение, но уже в диапазоне от b до $\alpha + b$. Выбирая постоянные α и b , можем получить любой диапазон изменения значений случайной величины.

Для моделирования дискретной случайной величины с законом распределения, отличным от равномерного ($x_i \rightarrow p_i$), поступают следующим образом: диапазон $[0, 1)$ разбивают на примыкающие друг к другу участки

					ЮУрГУ - 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

длиной, и если генератор случайных чисел выдает число в i -м диапазоне, то случайной величине X присваивают значение x_i . В частности, для моделирования случайной величины, имеющей вероятность успеха p и вероятность неудачи $q = 1 - p$, диапазон $[0, 1)$ нужно разбить на два участка $(0, p)$ и $(p, 1)$ с длинами p и q соответственно. Если генератор случайных чисел выдаст число в 1 диапазоне, то это моделируется как удача, если число из 2 диапазона, то как неудача. Если требуется смоделировать непрерывную случайную величину с функцией распределения $F(x)$ исходя из равномерно распределенной последовательности случайных чисел в диапазоне $[0, 1)$, то это делают на основании следующей теоремы. Теорема. Если ξ случайные числа из диапазона $[0, 1)$ с равномерным распределением, то значения непрерывной случайной величины x с функцией распределения $F(x)$ могут быть получены как решения уравнения

$$F(x) = \xi. \quad (1.1.6)$$

Доказательство. Функция распределения непрерывной случайной величины это монотонно возрастающая от 0 до 1 функция. Поэтому, используя обозначение F^{-1} для обратной функции, можем записать решение: 2

$$x = F^{-1}(\xi). \quad (1.1.7)$$

Причем в силу монотонности функции это решение – единственное. Покажем, что значения случайной величины X , определяемые таким образом, будут соответствовать функции распределения $F(x)$ Если случайная величина $c < X < d$, то в силу монотонного возрастания $F(x)$ случайная величина

$$\xi = F(X). \quad (1.1.8)$$

удовлетворяет неравенству

$$F(c) < \xi < F(d). \quad (1.1.9)$$

Отсюда имеем, что:

$$P(c < X < d) = F(d) - F(c). \quad (1.1.10)$$

Так как ξ имеет равномерное распределение в диапазоне от 0 до 1, то

$$P(F(c) < \xi < F(d)) = F(d) - F(c), \quad (1.1.11)$$

а, значит (1.1.7) означает, что случайная величина X имеет функцию распределения $F(x)$. Теорема доказана.

Таким образом, для получения случайной величины с функцией распределения $F(x)$ достаточно посчитать значения (1.1.10), где ξ — случайные числа из диапазона (0, 1) с равномерным распределением, выдаваемые компьютером.

Отдельно рассмотрим разыгрывание нормально распределенной случайной величины. В случае равномерного распределения в диапазоне от 0 до 1 математическое ожидание:

$$M\xi = \int_0^1 \xi * 1 d\xi = \frac{1}{2}. \quad (1.1.12)$$

дисперсия:

$$D\xi = M\xi^2 - (M\xi)^2 = \int_0^1 \xi^2 d\xi - (\int_0^1 \xi d\xi)^2 = \frac{1}{12}. \quad (1.1.13)$$

					ЮУрГУ - 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

Составим сумму независимых, равномерно распределенных на $[0, 1)$ случайных величин $\sum_{i=1}^n \xi_i$. Используя свойства математического ожидания и дисперсии, легко получить, что математическое ожидание суммы равно $\frac{1}{2}$, а дисперсия суммы равна $\frac{1}{12}$. Введем в рассмотрение случайную величину:

$$\frac{\sum_{i=1}^n (\xi_i - \frac{1}{2})}{\sqrt{\frac{n}{12}}}, \quad (1.1.14)$$

которая имеет нулевое математическое ожидание и единичную дисперсию. В силу центральной предельной теоремы при $n \rightarrow \infty$ распределение этой случайной величины будет стремиться к нормальному с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией. Взяв n порядка 10 и более, будем иметь распределение близкое к нормальному. Если требуется получить нормальное распределение с математическим ожиданием a и среднеквадратичным отклонением σ , то в качестве случайной величины берут

$$y_i = \sigma x_i + a. \quad (1.1.15)$$

Легко проверить, что распределение случайной величины Y действительно будет нормальным с математическим ожиданием a и среднеквадратичным отклонением σ .

Недостатками этого метода является влияние недостоверных исходных данных (оценок входных величин и их погрешностей, а также предполагаемых видов закона распределения).

Следующим методом обработки данных косвенных измерений можно считать метод Будстрепа. Впервые алгоритм, предложен М. Кенуем в 1949 г., суть алгоритма заключался в том, чтобы постепенно и постоянно из n объема выборки

						Лист
					ЮУрГУ - 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР	13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

исключить по одному и обработать вариационный ряд из тех, которые остались ($n - 1$) элементов.

Предположим мы имеем выборку X из n элементов. Пусть, без умаления общности рассуждений, представлена выборка: $\{3.12; 0; 1.57; 19.67; 0.22; 2.2\}$. В ней имеем следующие значения: среднее арифметическое $\bar{x} = 4.46$ и стандартное отклонение $S = 7.54$.

Традиционные параметрические методы позволяют оценить следующие параметры: точность оценки \bar{x} или ошибку среднего:

$$S_{m1} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \left[\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{-\frac{1}{2}} = 3.08 \quad (1.1.16)$$

Но ту же погрешность можно вычислить по-другому. Из исходной выборки, отбрасываем по одному члену, сформируем шесть псевдовыборок, в каждой из которых будет по 5 элементов. С помощью этих данных, в которых была поочередно исключена i -я точка, получаем ряд выборочных средних X_i $\{4,73; 5,36; 5,04; 1,42; 5,31; 4,92\}$. После того, как был произведен полный перебор всех возможных вариантов среднее арифметическое \bar{x} будет в точности равно исходному среднему $\bar{x} = 4,46$. «Использование метода не имеет смысла, если необходимо найти возможное смещение меры положения, но оно потенциально весьма полезно во многих других случаях оценки параметров распределения» [7].

«Так как каждая из сформированных псевдовыборок в то же время является подмножеством из той же генеральной совокупности, то оценка для ошибки среднего, вычисленная методом, будет равна:»

$$S_{m2} = \left[\frac{n-1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{-\frac{1}{2}} = 3,017. \quad (1.1.17)$$

Расчет смещения параметров по методу Будстрепа показал, что смещения параметров, вычисленные по обычным формулам, оказались незначительными.

С практической части можно рассуждать только как попытку подмены теоретического анализа вычислительной мощностью практической части. Но есть другая сторона: «с помощью этого удастся освободиться от ограничений традиционной параметрической теории с ее повышенным доверием к малому набору стандартных моделей, допускающих теоретическое решение.»

«Еще один аргумент связан с тем, что формула (1.1.15) не допускает очевидных обобщений на какие-либо иные оценки параметров, кроме среднего x , такие как медиана, стандартное отклонение. Преимущество формулы (1.1.16) в том, что она легко обобщается на любую статистику $\theta_n = fn(x_1, x_2, \dots, x_n)$.»

Рассмотрим еще один метод обработки данных косвенных измерений – метод трансформации.

Алгоритм метода трансформации состоит в следующем. Все входные величины в уравнении измерения, за исключением одной, заменяются их средними значениями. Затем в это уравнение подставляют последовательно все наблюдения, полученные при измерении входной величины, которая не была заменена. Каждое наблюдение дает одно значение измеряемой величины [15].

Следовательно, получаем количество реализаций измеряемой величины (n_j) равная количеству наблюдений при измерении этой j -ой величины:

$$y_i = f(x_1 x_2 \dots x_m). \quad (1.1.18)$$

Затем переменной делают другую входную величину и для нее тем же путем получают другую группу реализаций измеряемой величины [15].

В итоге получается столько групп, сколько входных величин имеет уравнение измерения. Все они объединяются в одну группу, число членов которой равно:

$$N = \sum_{j=1}^m n_j. \quad (1.1.19)$$

Полученная группа данных обрабатывается как группа наблюдений при прямых измерениях [4]. Между группами реализаций измеряемой величины имеется некоторая зависимость. Эта зависимость возникает из-за того, что наблюдения при измерении одного аргумента используются для построения двух групп, одной – как среднее этих наблюдений, а в другой – как переменная величина. Однако среднее значение остается постоянным для всей группы, а возможные изменения этого среднего в случае повторных изменений учитываются оценкой его неточности. Тем самым устраняется влияние его неточности.

Достоинство метода трансформации состоит в том, что он при объединении групп позволяет избежать применение в разложении в ряд Тейлора и связанных с ним неточностей [15].

Рассмотрим следующий метод.

Метод перебора заключается в получении всех значений измеряемой величины y_i полученных с помощью перебора всех значений входных аргументов, подставляемых в уравнение [15]:

$$y_i = x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{mi}. \quad (1.1.20)$$

Количество получаемых значений y_i можно определить, как произведение всех количеств значений входных аргументов:

$$N = \prod_{i=1}^m n_i. \quad (1.1.21)$$

С помощью полученного массива получим результат их измерения y

					ЮУрГУ - 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

$$y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i. \quad (1.1.22)$$

Стандартное отклонение:

$$S(y) = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - y)^2}. \quad (1.1.23)$$

Данный метод не устанавливает предположений о распределении измерений входных аргументов или в построении этих распределений, также не прибегает к использованию разложений в ряд Тейлора [15].

Метод опирается только на имеющиеся экспериментальные данные, используя всю хранящуюся в них информацию.

Перебор минимизирует неточность оценивания дисперсии построенного распределения за счет ограниченного количества измерений входных аргументов. Следовательно, неопределенность результата измерения, которая получается благодаря данному методу, соответствует заданной вероятности и является надежной [15].

					ЮУрГУ - 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

1.2 Использование MATLAB при создании программного обеспечения

«MALAB – матричная лаборатория – система программирования для технических расчетов, дополненная несколькими десятками частных приложений, относящихся к вычислительной математике, обработке информации, конструированию электронных приборов, экономике и ряду других разделов прикладной науки.»

Язык MATLAB – это высокоуровневый язык программирования, в котором исходный код не преобразовывается в машинный код для выполнения процессором (исполнение происходит с помощью программы-интерпретатора, то есть происходит построчный анализ, обработка и сразу же выполнение исходного кода или запроса).

В состав среды MATLAB входят множество расширений, повышая уровень возможности системы, увеличивая скорость, повышая эффективность, надежность и точность вычислений. Toolbox, одна из самых больших библиотек математических функций и возможностей. Возможность управлять переменными в рабочем среде, вводить и получать данные. Возможность создавать М-файлы, редактировать, управлять.

М-файлы представляют собой обыкновенные текстовые файлы, содержащие команды программы MATLAB, также он позволяет сохранить множество команд программы MATLAB в одном файле, а затем запускать их одной командой или с использованием мыши.

«Управляемая графика - графическая система MATLAB, которая содержит в себя команды высокого уровня для обработки изображений, анимации и иллюстрированной графики. Она также включает в себя команды низкого уровня, позволяющие полностью редактировать внешний вид графика делать его читабельным, понятным и простым в понимание.»

Пакет предоставляет пользователю несколько сотен различных функций, используемых для анализа данных: теория поля, линейная алгебра, векторы,

					ЮУрГУ - 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

многочлены, интерполяция и экстраполяция, численное интегрирование, обработка данных, оптимизация, построение графиков, математическая статистика, статистическая регрессия и так далее.

В пакете имеются удобные средства создания алгоритмов, имеются необходимые инструменты среды разработки.

Программы MATLAB можно собрать с использованием MATLAB Compiler в независимые от пакета приложения. Имеется возможность создавать независимые приложения с графическим интерфейсом пользователя.

Также одним из преимуществ пакета является возможность работы с внешними интерфейсами, написанными на других языках программирования: COM, .NET, DDE, Веб-сервисы, COM-порт, MEX-файлы, DLL.

Также имеется возможность подключения к периферийным устройствам, например, к плате Arduino.

Переменные – это объекты которые имеют свои имена, они хранят разные по значению данные. В MATLAB существуют разные переменные, они могут быть численные, символьные, векторные, матричные, в зависимости от данных.

В MATLAB можно задавать переменные имеющие конкретное значения. Для этого используется операция присваивания:

Имя_переменной = Выражение

Типы переменных определяются выражением, значение которого присваивается переменной. Так, если это выражение — вектор или матрица, то переменная будет векторной или матричной.

Имя переменной может содержать любое количество символов, но запоминаются и распознаются только первые шестьдесят три символа (это число как максимально возможное число символов в имени переменной возвращает функция (name lengthmax)).

Имя переменной не должно быть одинаковым с именами других переменных, функций и процедур системы, то есть, другими словами, оно должно быть

уникальным. Имя переменной должно начинаться с буквы, может содержать символ подчеркивания, цифры или буквы. Нельзя в имена переменных включать специальные знаки и пробелы, так как правильная интерпретация выражений становится некорректной.

Statistics Toolbox данный набор инструментов содержит алгоритмы и инструменты для организации, анализа, моделирования данных. Statistics Toolbox позволяет использовать регрессию, создавать случайные числа для метода Монте-Карло, использовать статистические графики для анализа, выполнять проверку гипотез.

Тестирование программного обеспечения — это проверка и оценка разрабатываемого программного обеспечения, чтобы проверить его возможности, способности и соответствие ожидаемым результатам.

Тестирование является неотъемлемой частью цикла разработки программного обеспечения.

«Качество программного обеспечения – это совокупность характеристик программного обеспечения, относящихся к его способности удовлетворять установленные и предполагаемые потребности.»

Целью тестирования программного обеспечения является повышение вероятности того, что тестируемое приложение будет работать правильно при любых обстоятельствах, будет соответствовать всем описанным требованиям и представлять актуальную информацию о состоянии продукта на данный момент.

Широко используемыми методами тестирования являются модульное тестирование, интеграционное тестирование, приемочное тестирование и тестирование системы.

В первую очередь проводится модульный тест. Это метод испытания на объектном уровне. Отдельные программы, компоненты тестируются на наличие ошибок. Для этого теста требуется точное знание программы и каждого

установленного модуля. Для этого создаются тест коды, которые проверяют правильность поведения тестируемого кода.

На втором этапе проводится интеграционное тестирование, в котором отдельные модули, которые уже были подвергнуты модульному тестированию, интегрируются друг с другом и проверяются на наличие неисправностей. Такой тип тестирования выявляет ошибки интерфейса.

Следующим этапом делается системное тестирование, в котором вся система проверяется на наличие ошибок и багов. Этот тест осуществляется путем сопряжения аппаратных и программных компонентов всей системы, и затем выполняется ее проверка.

1.3 Исследования в области обработки данных косвенных измерений (измерительного эксперимента)

Вопросам обработки данных косвенных измерений посвящены исследования многих ученых.

Статья [1] описывает задачу нахождения неопределенности измерения температуры и разности температур с учетом корреляции. Задача актуальна для поверочных центров, которые регулярно сталкиваются с необходимостью расчета неопределенности измерений при поверке термометров сопротивления.

Рассмотрим два термометра, измеряющие разность температур. Градуируются в одних и тех же термостатах с использованием одного измерительного моста, и образцового термометра. Присутствует корреляция градуировочных значений.

$$\begin{aligned}
 u_{\Delta}^2(t) = & \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial U}{\partial R_i} \right)^2 u_i^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial r_i} \right)^2 u_i^2 + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{\partial U}{\partial R_i} \frac{\partial U}{\partial R_i} u_{ci} u_{cj} + \\
 & + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{\partial U}{\partial r_i} \frac{\partial U}{\partial r_i} u_{ci} u_{cj} + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{\partial U}{\partial R_i} \frac{\partial U}{\partial r_i} u_{ci} u_{cj}, \quad (1.3.1)
 \end{aligned}$$

где N – количество точек градуировки (в данном случае $N = 3$),

u_i – суммарные неопределенности сопротивлений в точках градуировки,

и ci – коррелированные суммарные неопределенности сопротивлений в точках градуировки.

Данная формула является наиболее точным выражением для зависимости неопределенности разности температур от измеряемой температуры.

Первое упрощение приводит к следующей формуле:

$$u_{\Delta 1}^2(t) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial U}{\partial R_i}\right)^2 u^2_i + \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial U}{\partial r_i}\right)^2 u^2_i. \quad (1.3.2)$$

Второе упрощение учитывает только некоррелированные неопределенности:

$$u_{\Delta 1}^2(t) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial U}{\partial R_i}\right)^2 u^2_{ni} + \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial U}{\partial r_i}\right)^2 u^2_{ni} \quad (1.3.3)$$

где u_{ni} – некоррелированные суммарные неопределенности сопротивлений в точках градуировки.

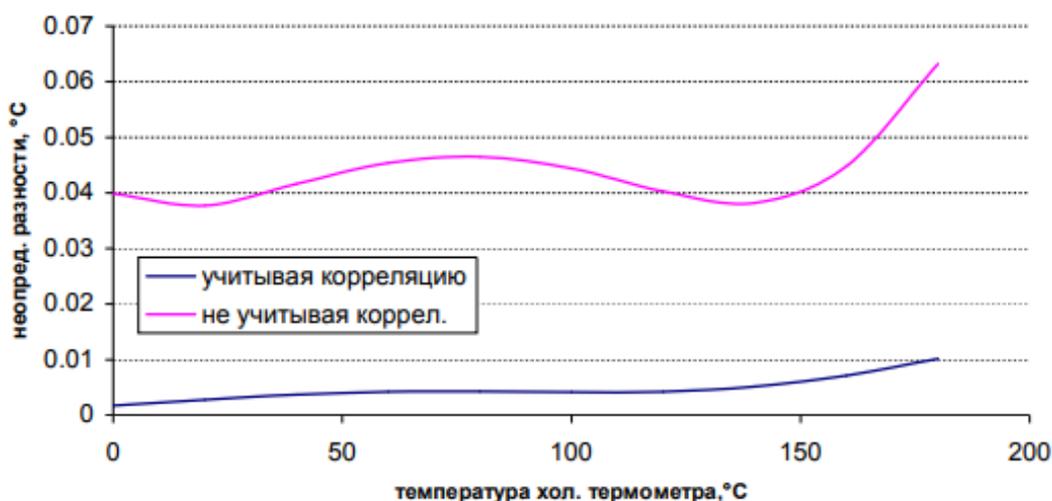


Рисунок 1 – Неопределенность разности температур, измеренной парой термометров, с учетом корреляции и без учета корреляции

Вывод: в данной работе теоретически обоснованы два важных момента в процедуре оценки неопределенности измерения температуры, которая возникает из-за наличия неопределенностей поверки в градуировочных точках. Во-первых, доказано, что в случае превышения суммарных коррелированных неопределенностей над некоррелированными можно использовать линейную интерполяцию для получения неопределенностей в интервале. Во-вторых, было показано, что для выражения неопределенности разности температур, измеренной двумя термометрами, градуированными с помощью одной и той же аппаратуры необходимо учитывать корреляцию, что снизит суммарную неопределенность разности в несколько раз.

Статья [2] описывает моделирование методом Монте-Карло упругого и неупругого рассеяния электронного пучка в газе.

Цель: моделирование упругого и неупругого рассеяния электронов на атомах газа методом Монте-Карло.

В данной статье рассматривается такт одного столкновения электрона с атомом, также была учтена возможность потери кинетической энергии электрона на возбуждение или ионизацию атома. В момент столкновения с атомом можно пренебречь взаимодействием между ними, а также не было учтено молекулярное строение и многообразие форм электронных оболочек атомов. «От разного размера выбранной длины свободного пробега электрон претерпевал разное число столкновений до попадания на коллектор. Угловое распределение рассеянных электронов описывалось с помощью формулы Резерфорда:»

$$\frac{dN(\theta)}{N_0} = na \left(\frac{2Ze^2}{m_e v^2} \right)^2 \frac{2\pi \sin(\theta) d\theta}{4 \cdot \sin^4\left(\frac{\theta}{2}\right)}, \quad (1.3.4)$$

где θ – угол, на который рассеиваются электроны;

Z – зарядовое число;

e – заряд электронов;
 m_e – масса электрона;
 n – число атомов газа в единице объема;
 a – толщина газового слоя.

Чтобы вычислить, сколько долей частиц отклонились по методу Монте-Карло, была выбрана произвольная переменная ξ в качестве верхнего предела интегрирования, а весь интеграл должен быть равен случайной величине γ , равномерно распределенной в интервале (0,1):

$$A \cdot \int_a^\xi \frac{\sin(\theta) d\theta}{\sin^4(\frac{\theta}{2})}, \quad (1.3.5)$$

где A – константа в выражении (1), не зависящая от угла рассеяния θ .

«С вычислением интеграла (2) можно выразить угол рассеяния ξ :»

$$\xi = 2 \cdot \arcsin \left(\sqrt{\frac{8 \cdot A}{1 - \gamma}} \right). \quad (1.3.6)$$

«Как итог, выбираем математическую модель, описывающую упругое рассеяние нерелятивистских электронов на атомах по закону Резерфорда.»

Чтобы промоделировать неупругие потери энергии электроном при столкновении с атомом газа необходимо использовать формулу дифференциального сечения потерь энергии:

$$d\sigma_\varepsilon = \pi \cdot Z \cdot e^4 \left[\frac{1}{\varepsilon^2} + \frac{1}{(E_0 - \varepsilon)^2} - \frac{1}{\varepsilon(E_0 - \varepsilon)} \right] \frac{d\varepsilon}{E_0}, \quad (1.3.7)$$

где E_0 – энергия быстрого электрона;

Z – зарядовое число атома;

e – заряд электрона;

ε – количество энергии, переданное быстрым электроном атому (потеря энергии).

В рамках данной модели предполагалось, что область допустимых потерь энергии лежала от 1 эВ до $E_0/2$. Аналитическое выражение интеграла имеет вид:

$$I(\varepsilon) = const \cdot \left[\left(\frac{1}{\varepsilon_0} - \frac{1}{\varepsilon} \right) + \left(\frac{1}{(E_0 - \varepsilon)} - \frac{1}{(E_0 - \varepsilon_0)} \right) + \left(\frac{1}{E_0} \ln \left(\frac{E_0 - \varepsilon}{\varepsilon_0} \right) \right) \right], \quad (1.3.8)$$

где $const$ – нормировочная константа, вычисляемая для каждого значения E_0 и обеспечивающая изменение значений в диапазоне от 0 до 1, необходимое для моделирования по методу Монте-Карло,

ε – случайно разыгрываемая потеря энергии электроном в акте соударения с атомом.

Для моделирования случайной потери энергии генерировалось псевдослучайное число μ из интервала (0,1) и сравнивалось со всеми значениями $I(\varepsilon)$, и случайной потерей энергии считалось такое значение аргумента ε , для которого $I(\varepsilon) = \mu$.

Вывод: в процессе выполненной работы были получены следующие результаты:

1) Написана программа, которая позволяет строить траекторию каждого электрона, и провести анализ данной траектории;

2) С помощью программы можно вычислять линейную плотность тока электронов на коллекторе, что позволяет проанализировать и оценить степень изменения относительно начального плоского профиля пучка при его распространении в газе;

3) Был разработан алгоритм моделирования методом Монте-Карло потерь энергии в одиночном акте соударения электронного пучка и атома, на основе которого становится возможным проанализировать и оценить расширение

энергетического спектра моноэнергетических электронов в результате взаимодействий с атомами газа.

Статья [3] описывает оценку отклонений при подсчете совпадений нейтронов с помощью метода Будстрепа.

Цель: применение метода Будстрепа для оценки случайной дисперсии в массовой оценке NMC измерений.

Основная идея: метод Будстрепа направлен на определение статистической дисперсии любой оценки из выборочных данных путем повторного отбора проб самих данных.

Предположим, что измерение было принято в интервале времени $L=[0, T]$

$$T_l = \frac{l}{N}T, \quad l = 0 \dots N. \quad (1.3.9)$$

и обозначим $N+1$ промежуточных точек времени.

Для реализации статистического анализа данных Будстреп методом исходная выборка была разделена на N суб-выборка, где l суб-измерения определяются как исходные измерительные данные между интервалом $L_l = [T_{l-1}, T_l)$, $l = 1 \dots N$. Длительность T/N будет называться «ворота Будстрепа».

Каждая суб-выборка также можно рассматривать в качестве независимых образцов исходной выборки.

Таким образом, измерение N , с заменой, из N суб-выборки и объединение их в новом образце эквивалентно одной повторной выборки, проведенной в случайном порядке, от первоначального образца. Для каждой повторной выборки вычисляется статистика любого требуемого количества, и повторяется этот процесс сто раз, строится бутстраповское распределение, которое позволяет нам оценить статистическую неопределенность.

Для того чтобы проверить и оценить эффективность метода, процедура самонастройки была реализована на множестве 5^{240} Pu образцов металлов.

					ЮУрГУ - 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

Вывод: в исследовании, был реализован бутстраповский метод оценки статистической дисперсии выборки. Различные реализации варьировались в массе испытываемого образца, продолжительности измерения, и длительности так называемых «Будстреповских ворот».

Статья [4] описывает интерпретацию данных магнитотеллурического зондирования с использованием методов трансформации.

Цель: рассмотреть алгоритм интерпретации реактивного сопротивления и фазы импеданса для плоской волны, падающей вертикально на границу горизонтально слоистой среды, методами контролируемой трансформации и случайного поиска.

При интерпретации данных магнитотеллурического зондирования (МТЗ) на первом этапе обычно используют методы контролируемой трансформации кривых зондирования [5]. Контролируемая трансформация переводит кривую сопротивления $\rho_k(\sqrt{T})$, являющуюся функцией периода, в псевдогеоэлектрический разрез $\tilde{\rho}(\tilde{z})$, где $\tilde{\rho}$ и \tilde{z} – приближенные или действующие значения удельного сопротивления и глубины, обеспечивающие минимум невязки между исходной кривой кажущегося сопротивления и вычисленной от псевдогеоэлектрического разреза.

В качестве исходных данных выступает трансформация методом эффективной линеаризации. Эффективность этой трансформации оценивалась по трем моделям с четырехслойными разрезами.

Оценка действующей удельной электропроводности:

$$\frac{d}{dz} \left(\frac{1}{\tilde{\rho}} \right) = - \frac{1}{\tilde{\rho}^2} \frac{d\tilde{\rho}}{dz}, \quad (1.3.10)$$

Наиболее адекватной моделью кривой зависимости $\log \rho$ от $\log z$ оказалась функция отношения дифференциалов:

$$\frac{d \log \tilde{\rho}}{d \log z} \cong \frac{z}{\tilde{\rho}} \frac{d \tilde{\rho}}{dz}, \quad (1.3.11)$$

Относительные погрешности обычно характеризуются единицами десятков процентов, а погрешность удельного сопротивления высокоомного пласта приближается к -90% , а низкоомного нижнего полупространства близка к нулю.

Вывод: Переход от непрерывного геоэлектрического разреза, полученного методом контролируемой трансформации, к слоистому разрезу при отсутствии априорной информации сопровождается значительными погрешностями. Для нахождения примерного положения контактов пластов и оценки их мощностей обоснован способ использования глубин, в которых отношение дифференциалов логарифмов сопротивления и глубины достигает экстремальных значений.

Статья [5] описывает применение метода перебора для оценивания неопределенности косвенных некоррелированных измерений.

Цель: является распространение метода перебора на косвенные некоррелированные измерения с различным числом наблюдений входных величин и с оцениванием всех видов неопределенностей, включая расширенную.

Оценивание расширенной неопределенности для данных, полученных методом перебора, можно производить с помощью нескольких подходов.

Первый подход соответствует базовому алгоритму оценивания неопределенности. Для нахождения суммарной стандартной неопределенности типа В следует воспользоваться законом распространения неопределенности:

$$u_B^2(y) = \sum_{j=1}^m c_j^2 u_B^2(x_j), \quad (1.3.12)$$

где $c_j = \frac{\partial f}{\partial x_j}$ – коэффициенты чувствительности;

$u_B(x_j)$ стандартные неопределенности типа В входных величин.

Тогда суммарная стандартная неопределенность косвенных некоррелированных измерений будет равна:

$$u_c(y) = \sqrt{u_A^2(y) + u_B^2(y)}. \quad (1.3.13)$$

а расширенная неопределенность определится выражением:

$$U(y) = t_{0,95}(v_{eff})u_c(y), \quad (1.3.14)$$

где $t_{0,95}(v_{eff})$ – коэффициент Стьюдента.

Второй подход состоит в получении оценки расширенной неопределенности типа А по формуле:

$$U_A(y) = t_{0,95}(n_{eq}-1)u_A(y), \quad (1.3.15)$$

где $t_{0,95}(n_{eq} - 1)$ – коэффициент Стьюдента для вероятности 0,95 и числа степеней свободы $(n_{eq} - 1)$.

Расчете расширенной неопределенности типа В в соответствии с выражением:

$$u_B(y) = k_B u_B^2(y), \quad (1.3.16)$$

где k_B – коэффициент охвата для неопределенности типа В, определяемый через композицию законов распределения вкладов неопределенности типа В, и применении выражения для расширенной неопределенности результата измерения, взятого из теории погрешности:

$$U(y) = \frac{U_A(y)+U_B(y)}{u_A(y)+u_B(y)} \sqrt{u_A^2(y) + u_B^2(y)}, \quad (1.3.17)$$

Третий подход заключается в использовании закона распространения расширенной неопределенности:

$$U_C(y) = \sqrt{U_A^2(y) + U_B^2(y)}. \quad (1.3.18)$$

Целесообразность применения того или иного подхода должна быть определена для конкретных условий их применения, таких как модельное уравнение, число результатов наблюдений каждого аргумента.

Вывод: доказано отсутствие корреляции между результатами наблюдений входных величин при использовании метода перебора, что делает возможным его применение для обработки результатов косвенных некоррелированных измерений.

Статья [6] описывает использование метода приведения при обработке результатов косвенных измерений.

Цель: определить границы применимости метода приведения. Для этого целесообразно провести исследование для:

- а) нелинейных зависимостей;
- б) различных значений коэффициента корреляции;
- в) составить соотношения неопределенности по типу А и по типу В.

С помощью метода приведения можно найти оценку измеряемой величины и ее случайную погрешность, не применяя при этом разложение в ряд Тейлора. Тогда плоскости распределения не исключенных систематических погрешностей, которые формируют стандартную неопределенность типа В, принимаются равными.

«Метод основан на приведении ряда отдельных значений косвенно измеряемой величины Y к ряду прямых измерений величин X_j. Получаемые сочетания отдельных результатов измерений входных величин x_j подставляют в

уравнение измерения $y_i = f(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$ и вычисляют множество значений измеряемой величины $Y: f(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}).$ »

Результат косвенного измерения определяют по формуле:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (1.3.19)$$

где n - число значений измеряемой величины Y ;

y_i – i -е значение измеряемой величины, полученное в результате подстановки i -го сочетания результатов измерений входных величин в уравнение измерения.

Стандартную неопределенность результата косвенного измерения по типу А, определяют по формуле:

$$u_A(y) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}. \quad (1.3.20)$$

«При этом число степеней свободы для стандартной неопределенности по типу А равно» $v_A = n - 1$.

«Стандартную неопределенность результата измерений по типу В вычисляют по формуле:»

$$u_B(y) = [\sum_{j,k} c_j^2 u_B^2(x_j) + 2c_j c_k \rho_{jk} u_B(x_j) u_B(x_k)]^{0,5}, \quad (1.3.21)$$

где $u_B(x_j)$ - оценки стандартной неопределенности величин X_j по типу В;

c_j - коэффициенты чувствительности величин X_j ;

ρ_{jk} – коэффициент корреляции величин X_j и X_k .

Суммарную стандартную неопределенность измеряемой величины Y вычисляют по формуле:

$$u_c(y) = \sqrt{u_A^2(y) + u_B^2(y)}. \quad (1.3.22)$$

Вывод: «для оценивания неопределенности зависимых косвенных измерений, основанных на использовании нелинейных уравнений с многократными наблюдениями входных величин, применение метода приведения дает вполне удовлетворительные результаты. При использовании метода приведения влияние корреляции между входными величинами несущественно, как и соотношение между стандартными неопределенностями по типу А и по типу В.»

Выводы по главе 1

В результате проведенного информационного поиска можно выделить, что каждый метод имеет свои достоинства и недостатки.

Так, например, достоинством традиционного метода является его универсальность и широкая распространённость, так как он изложен в МИ 2083-90. В методе Монте-Карло повышается достоверность оценивания погрешность. Бутстреп-метод очень прост и дает надежные оценки параметров, а также обработка данных происходит через компьютерную программу. Во всех методах обработки данных косвенных измерений используются упрощенные оценки результата измерения, что актуально в инженерной практике. но снижает достоверность результата измерения.

По итогам проведенного анализа найденных материалов был выбран традиционный метод, недостаток которого, является низкая достоверность результата измерения. В дальнейшем традиционный метод будет модифицирован и будет осуществляться обработка экспериментальных данных в данной работе.

2. МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

2.1 Традиционный (линеаризации) метод обработки результатов косвенных измерений

«Для косвенных измерений при нелинейных зависимостях и некоррелированных погрешностях измерений используют традиционный метод обработки данных косвенных измерений. Этот метод основан на том, что погрешность измерения значительно меньше измеряемой величины, и поэтому вблизи средних значений аргументов нелинейная функциональная зависимость линеаризуется и раскладывается в ряд Тейлора. Линеаризуя функцию нескольких случайных аргументов можно получить достаточно простое выражение для вычисления оценок среднего значения и среднеквадратического отклонения функции.»

Достоинствами традиционного метода обработки данных косвенных измерений является его универсальность, простота применения и широкая распространенность.

Рекомендуется использовать метод линеаризации при нахождении значения косвенно измеряемой величины.

В основе оценивания погрешности измерений традиционным методом лежит линеаризация уравнения измерения на основе разложения Тейлора [11].

$$f(a_1, \dots, a_m) = f(\tilde{a}_1, \dots, \tilde{a}_m) + \sum_{i=1}^m \frac{\partial f}{\partial a_i} \Delta a_i + R \quad (2.1.1)$$

где (a_1, \dots, a_m) – нелинейная функциональная зависимость измеряемой величины, Δa_i – отклонения результата измерения, R – остаточный член.

$\frac{\partial f}{\partial a_i}$ – первая производная от функции f по аргументу a_i , вычисленная в точке $\tilde{a}_1, \dots, \tilde{a}_m$;

Методом линеаризации можно воспользоваться при условии, если можно пренебречь R

$$R = \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^m \frac{\partial^2 f}{\partial a_i \partial a_j} * (\Delta a_i * \Delta a_j), \quad (2.1.2)$$

где R остаточный член.

R пренебрегают если:

$$R < 0,8 \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial a_i}\right)^2 * S^2(\tilde{a}_i)}, \quad (2.1.3)$$

где $S^2(a_i)$ – СКО случайных погрешностей, Δa_i берем из полученных значений погрешностей, чтобы в результате получить максимальное выражения для остатка R .

Отклонение Δa_i при этом должны быть взяты из полученных значений погрешностей и такими, чтобы они максимизировали выражение для остаточного члена R .

Результат измерения вычисляют по формуле:

$$\tilde{A} = f(\tilde{a}_1 \dots \tilde{a}_m). \quad (2.1.4)$$

Среднее квадратическое отклонение (СКО) случайной погрешности результат косвенного измерения $S(\tilde{A})$ вычисляют по формуле:

$$S(A) = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial a_i}\right)^2 * S^2(\tilde{a}_i)}. \quad (2.1.5)$$

«Доверительные границы случайной погрешности результата косвенного измерения при условии, что распределения погрешностей результатов измерений аргументов не противоречат нормальным распределениям, вычисляются»

$$\varepsilon(p) = t_q * S(\tilde{A}), \quad (2.1.6)$$

где t_q – коэффициент Стьюдента, соответствующий доверительной вероятности $P = 1 - q$ и числу степеней свободы $f_{\text{эф}}$, вычисляемому по формуле:

$$f_{\text{эф}} = \frac{(\sum_{i=1}^m b_i^2 S^2(\tilde{a}_i))^2 - 2 * (\sum_{i=1}^m \frac{b_i^4 S^4(\tilde{a}_i)}{(n_i+1)})}{\sum_{i=1}^m \frac{b_i^4 S^4(\tilde{a}_i)}{(n_i+1)}}. \quad (2.1.7)$$

где b_i – коэффициент, равный:

$$b_i = \frac{\partial f}{\partial a_i}. \quad (2.1.8)$$

Границы неисключенной систематической погрешности результата косвенного измерения $\theta(p)$ при вероятности p :

$$\theta(p) = R * \sqrt{\sum_{i=1}^m b_i^2 * \theta_i^2}, \quad (2.1.9)$$

где R - поправочный коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью и число m составляющих θ_i .

При $p = 0,95$, $R = 1.1$;

Доверительная граница погрешности результата косвенного измерения вычисляются:

$$\Delta(P) = K(\varepsilon(P) + \theta(P)), \quad (2.1.10)$$

где K – коэффициент, зависящий от доверительной вероятности и отношения $\frac{\theta(P)}{s(\check{A})}$

2.2 Модификация традиционного (линеаризации) метода обработки результатов косвенных измерений

Важной составляющей интегральной оценки погрешности косвенных измерений, являются случайные погрешности.

Оценка СКО случайной погрешности косвенного измерения определяется по формуле [56]:

$$\hat{\sigma}_i = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \tilde{\sigma}_i^2 + \sum_{i \neq j}^m \sum_{j \neq i}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot \left(\frac{\partial f}{\partial x_j} \right)^2 \cdot \tilde{\sigma}_i^2 \hat{\sigma}_j^2 r_{ij} \right)}, \quad (2.2.1)$$

где m – число параметров косвенных измерений; $\hat{\sigma}_i$ – оценка СКО параметров косвенного измерения;

r_{ij} – коэффициент корреляции, как мера статистической зависимости параметров случайных величин x_i и x_j , $r \in (-1, 1)$.

Корреляция – это статистическая зависимость между случайными величинами, не имеющими строго функционального характера, при котором

изменение одной из случайных величин приводит к уменьшению математического ожидания другой.

Корреляционный момент

$$K_{x_i y_j} = \iint_{-\infty}^{\infty} (x_i - m_{x_i})(y_j - m_{y_j})f(x, y)dx dy, \quad (2.2.2)$$

где m_{x_i}, m_{y_j} – математическое ожидания величины X и Y.

Коэффициент корреляция:

$$r = \frac{K_{x_i y_j}}{\sigma_{x_i} \sigma_{y_j}} \quad (2.2.3)$$

Примечания

1. Величина коэффициента корреляции всегда будет принимать значения от -1 до плюс 1, включая крайние значения;

2. Если две случайные величины независимы, коэффициент корреляции между ними равен 0 только в случае нормального распределения.

При наличии корреляции между погрешностями измерений аргументов для определения результатов косвенного измерения и его погрешности используют метод приведения, который предполагает наличие ряда отдельных значений измеряемых аргументов, полученных в результате многократных измерений. Этот метод можно также применять при неизвестных распределениях погрешностей измерений аргументов.

Коэффициент вариации – отношение СКО случайной погрешности отклонения к абсолютному значению математического ожидания случайной величины. Коэффициент вариации – δ , равен:

					ЮУрГУ - 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

$$\delta = \frac{p}{\widehat{M}_1}, \quad (2.2.4)$$

где $\widehat{m}_1 = \int_0^{\infty} xp(x)dx$ – оценка математического ожидания случайной величины;
 p – плотность распределения вероятностей случайной величины x ;

С учетом того, что второй центральный момент равен дисперсии случайной величины x при нормальном законе распределения то:

$$\delta^2 = \frac{p^2}{\widehat{M}_1^2} = \frac{D_2 - M_1^2}{M_1^2} = \frac{D_2}{M_1^2} - 1 \quad (2.2.5)$$

где D_2 – второй центральный момент; M_1 – первый начальный момент.

Первой предпосылкой для модификации является то, что среднее значение фундаментальных физических величин и физических постоянных имеют не нулевые средние значения.

Если $\hat{\sigma}_1, \hat{\sigma}_2, \hat{\sigma}_3 \dots \hat{\sigma}_m$ отличаются на порядки, то в [2.2.1] показано, что определяющей погрешностью будет наибольшее из $\hat{\sigma}_i$.

Тогда (2.2.1) с учетом (2.2.2) запишется в виде:

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 \left[\left(\frac{D_{2i}}{M_{1i}^2}\right)^2 - \frac{2D_{2i}}{M_{1i}^2} + 1\right] + \sum_{i \neq j}^m \sum_{j \neq i}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 \cdot \left(\frac{\partial f}{\partial x_j}\right)^2 \cdot \left[\frac{D_{2i}D_{2j}}{M_{1i}^2 M_{1j}^2} + \left(1 - \frac{D_{2i}}{M_{1i}^2} + \frac{D_{2j}}{M_{1j}^2}\right)^2 \cdot \hat{r}_{ij}\right]} \quad (2.2.6)$$

Окончательно получим:

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{D_{2i}}{M_{1i}^2}\right)^2 - \frac{2D_{2i}}{M_{1i}^2} + 1\right]} \quad (2.2.7)$$

Вывод по главе 2 была разработана новая модификация традиционного метода обработки данных косвенных измерений, с уточненной моделью случайной составляющей погрешности.

3 ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ИЗМЕРЕНИЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЕМКОСТИ

3.1 Резонансный метод измерения

Резонансный метод основан на использовании электрического резонанса в колебательной системе, параметров колебательного контура, составленного из рабочего (образцового) элемента и исследуемой цепи.

В качестве образцового элемента используют конденсатор с переменной емкостью и воздушным диэлектриком, имеющий высокую стабильность, обладающий малыми потерями и низким температурным коэффициентом емкости (ТКЕ).

Резонансный метод измерения частоты заключается в сравнении измеряемой частоты с собственной резонансной частотой градуированного измерительного колебательного контура.

Особенность метода – возможность определять значения в данный момент у параметров, т. е. фактические значения сопротивления, индуктивности или емкости на зажимах исследуемой цепи с учетом паразитных составляющих ее эквивалентной схемы.

Наиболее простым резонансным методом измерения ёмкости конденсатора считается способ, базирующийся на измерении резонансной частоты измерительного контура, состоящий из образцовой катушки индуктивности и измеряемого конденсатора.

Резонансный метод измерения параметров реализуется в измерителях добротности – куметрах.

Куметр – прибор для измерения добротности элементов электрической цепи.

Упрощенная структурная схема прибора, представленная на рисунке 2.

Данная структура содержит диапазонный генератор гармонических колебаний, колебательный контур, состоящий из рабочего конденсатора – C_0 , и измеряемой цепи, а также электронный вольтметр, показания которого фиксируют момент

					ЮУрГУ - 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

настройки в резонанс колебательного контура и определяют его добротность Q . В комплект прибора входит набор образцовых катушек индуктивности, для измерения емкости методом замещения. На каждой катушке есть маркировка на которой указан диапазон частот, в пределах которого возможен резонанс для рабочего конденсатора.

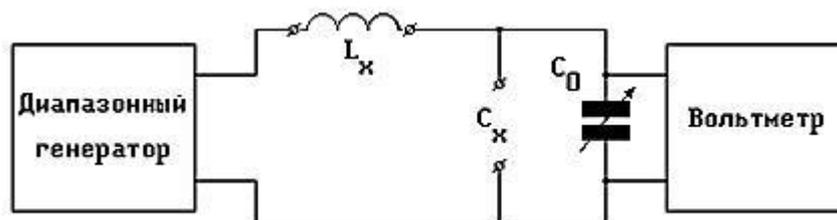


Рисунок 2 – Структурная схема метода резонанса

Принцип измерения основан на известном свойстве последовательного колебательного контура – при резонансе амплитуда напряжения на емкости в Q раз превышает амплитуду напряжения на входе цепи. Измеряемый элемент подключают либо к клеммам L_x , последовательно с рабочим конденсатором куметра, либо к клеммам C_x . В последнем случае к клеммам L_x должна быть подключена рабочая катушка индуктивности, соответствующая частоте измерения).

Основными источниками погрешностей при измерении параметров сосредоточенных элементов электрических цепей резонансным методом являются следующие:

1. Неточность расчета индуктивностей и активных сопротивлений возникает из-за погрешности установки частоты диапазонного генератора и нестабильность амплитуды генерируемого им колебания;
2. Погрешность установки значения рабочей емкости;
3. Неточное определения резонансного значения рабочей емкости возникает из-за погрешности настройки контура в резонанс, которая зависит от добротности контура

4. Округление погрешностей при обработке результатов косвенных измерений.

При измерении электрической емкости C_x возможны два варианта применения метода. Для малых значений емкости, когда на рабочей частоте f выполняется условие

$$\frac{1}{(2\pi f)^2 L_{\max}} < C_x < \frac{1}{(2\pi f)^2 L_{\min}}, \quad (3.1.1)$$

где L_{\max} и L_{\min} – соответственно максимальное и минимальное значения индуктивности катушки, исследуемый конденсатор включают в измерительную схему параллельно. После этого настраивают контур в резонанс (момент настройки определяется по максимуму показаний вольтметра) и фиксируют резонансное значение емкости рабочего конденсатора C_1 . Действующее значение емкости рассчитывается по выражению:

$$C_x = \frac{1}{(2\pi f)^2 L_1}. \quad (3.1.2)$$

Если же емкость велика и

$$C_x > \frac{1}{(2\pi f)^2 L_{\min}}, \quad (3.1.3)$$

то необходимо подключить образцовую катушку L_0 параллельно измеряемой катушке L_x из рабочего комплекта прибора. В этом случае измерение осуществляют в два этапа. В первом этапе измерения в измерительную схему

включают только образцовую катушку, настраивают контур в резонанс и фиксируют резонансное значение рабочей емкости C_1 . Затем параллельно подключают измеряемую индуктивность, повторяют настройку контура и фиксируют новое резонансное значение рабочей емкости C_2 . Значение измеряемой индуктивности:

$$C_x = \frac{1}{(2\pi f)^2(L_2 - L_1)}. \quad (3.1.4)$$

При измерении относительно малых значений емкости C_x исследуемый конденсатор включают в измерительную схему к клеммам C_x параллельно рабочему конденсатору.

При измерении активного сопротивления R записывают изменение добротности, так как в цепь включают исследуемый резистор. Искомое значение затем находится расчетным путем.

Резонансный метод позволяет определить паразитные параметры сосредоточенных элементов электрических цепей, такие, как собственную (межвитковую) емкость катушки и ее добротность, собственную индуктивность и тангенс угла потерь конденсатора, а также собственную емкость (или индуктивность) резистора. Наличие этих параметров и их значения обусловлены особенностями конструкций конкретных элементов; их присутствие приводит к появлению частотных зависимостей параметров элементов.

Присутствие непростой эквивалентной схемы у реальных компонентов приводит к тому, что резонансным способом измеряют действующие значения на рабочей частоте. Действующие значения индуктивности (емкости) можно определить из условия: реактивные сопротивления (проводимостей) реального элемента равны идеальной индуктивности (емкости) на частоте измерения. Для резисторов действующее значение вводят, исходя из равенства активных

составляющих сопротивления реального и идеального элементов. Значения паразитных реактивностей катушки и конденсатора находятся по результатам измерений действующих значений их индуктивностей (емкостей) на двух частотах.

3.2 Оборудование экспериментального стенда

В состав оборудования экспериментального стенда входили следующие наименования:

1) Генератор SFG 71003

GW Instek SFG-71003 представляет собой универсальное настольное устройство, оснащенное цифровым однострочным дисплеем, поворотными переключателями, удобным кнопочным интерфейсом и специальными разъемами. SFG-71003 разработан специально для применения в различных отраслях промышленности, науки и техники. Чаще всего применяется в различных учебных учреждениях (для изучения таких наук, как физика, радиотехника и т.п.), среди радиолюбителей, а также простых любителей процессов разборки и сборки различных электронных приборов и устройств.

SFG-71003 - это функциональный генератор для получения выходных сигналов следующих форм: синусоидальный, прямоугольный, треугольный, меандровый.



Рисунок 3 – Генератор Instek SFG-71003

В таблице 1 представлены метрологические характеристики генератора

Таблица 1 – Метрологические характеристики генератора

Параметры	Значения
Частотный диапазон	0,1 Гц... 3 МГц
Разрешение по частоте	0,1 Гц
Погрешность установки	$\pm(20 \cdot 10^{-6})$
Амплитуда	>10 Впик (на 50 Ом)
Выходное сопротивление	50 Ом $\pm 10\%$
Аттенюатор	40 дБ ± 1 дБ
Постоянное смещение	± 5 В (на 50 Ом)
Ассиметрия формы	0,25...0,75 для частот менее 1 МГц

2) Вольтметр APPA 303



Рисунок 4 – Мультиметр Appra 303

В таблице 2 представлены метрологические характеристики используемого вольтметра.

Таблица 2 – Метрологические характеристики вольтметра

Параметр	Значение
Разрядность цифровой шкалы измерения	5 или 4 разряда
Базовая погрешность	$\pm 0,1 \%$
Скорость измерения по линейной шкале	20 изм./с
Максимально индицируемое число	40000 или 4000

3) Нормированная катушка индуктивности для лабораторных работ типа P536



Рисунок 5 – Катушка индуктивности P536

В таблице 3 приведены метрологические характеристики катушки индуктивности P536.

Таблица 3 – метрологические характеристики катушки P536

Параметр	Значение
Максимальный ток	3 А
L1	0,0021 Гн
R1	0,51 Ом
L2	0,0022 Гн
R2	0,52 Ом

4) Магазин емкости P5025

Модель P5025 используется в качестве меры или элементов измерительных цепей переменного тока с частотой в пределах от 40 Гц до 60 Гц. Он может быть использован только в сухих закрытых помещениях, при температуре от +10 до 35 градусов Цельсия и относительной влажности до 80% при 25 градусов.



Рисунок 6 – Магазин емкости P5025

В таблице 4 представлены метрологические характеристики магазина емкости P5025.

Таблица 4 – Метрологические характеристики магазина емкости

Параметр	Значение
Максимальная емкость	111,0001 мкФ
Число декад	6
Класс точности	0,1 (для декад 0,0001 – 0,011; 0,001 – 0,009; 0,01 – 0,09 и 0,1 – 0,9 мкФ)
	0,5 (для 1 – 10; 10 – 100 мкФ)

5) Магазин сопротивлений Р33

Магазин сопротивления измерительный Р-33 применяется в качестве многозначной меры сопротивления в цепях постоянного тока и дает возможность получать сопротивления от 0,1 до 99999,9 Ом.

Метрологические характеристики магазина сопротивлений Р33 представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Метрологические характеристики магазина сопротивлений

Параметр	Значение
Класс точности	$0,2/6 \cdot 10^{-6}$
Предел допускаемой основной погрешности	$\delta = \pm [0,2 + 6 \cdot 10^{-6} \left(\frac{R_K}{R} - 1 \right)]$
Номинальная мощность на одну ступень: - при сопротивлении от 1 до 10^4 Ом - при сопротивлении 0,1 Ом	0,25 W 0,1 W
Максимальная мощность на одну ступень: - при сопротивлении от 1 до 10^4 Ом - при сопротивлении 0,1 Ом	0,5 W 1 W
Максимальное значение сопротивления R_K , Ом	99999,9



Рисунок 7 – Магазин сопротивлений Р33

3.3 Методика выполнения измерений

3.3.1. Область применения

Настоящий документ устанавливает методику выполнения измерений (МВИ) емкости с помощью измерительного комплекта, из узлов:

- диапазонного генератора сигнала типа Instek SFG-71003 (далее – генератор);
- магазина электрической емкости типа P5025;
- катушки индуктивности типа P536;
- магазина сопротивлений типа Р33;
- электронного вольтметра типа АРРА-303;
- соединительных линий.

Положения документа распространяются на измерение емкости резонансным методом измерительными комплектами как отечественного, так и зарубежного производства, изготовленными с требованиями настоящего документа.

					ЮУрГУ - 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

Настоящий документ дополняет ГОСТ 8.563-2009 тем, что рассматривает практическое применение резонансного метода.

3.3.2. Нормативные документы

В настоящем документе использованы ссылки на следующие стандарты:

РМГ 29–2013 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения

ГОСТ Р 8.736–2011 ГСИ. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения

МИ 2091–90 ГСИ. Измерения физических величин. Общие требования

МИ 2083–90 ГСИ. Измерения косвенные. Определения результатов измерений и оценивание их погрешностей

ГОСТ 8.395–80 ГСИ. Нормальные условия измерений при поверке. Общие требования

ГОСТ Р 8.563-2009 ГСИ. Методики (методы) измерений [50]

ГОСТ Р ИСО 5479. Статистические методы. Проверка отклонения распределения вероятностей от нормального распределения [51]

3.3.3. Термины и определения

Методика измерений: Совокупность конкретно описанных операций, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с установленными показателями точности.

Средство измерений: Техническое средство, предназначенное для измерений и имеющее нормированные (установленные) метрологические характеристики.

Электрическая емкость: Характеристика проводника, мера его способности накапливать электрический заряд.

Резонанс: Явление, при котором амплитуда вынужденных колебаний имеет максимум при некотором значении частоты вынуждающей силы.

					ЮУрГУ - 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

Результат измерения: множество значений величины, приписываемых измеряемой величине вместе с любой другой доступной информацией с указанием соответствующего показателя точности.

Точность результата измерения: Близость измеренного значения к истинному значению измеряемой величины.

Показатель точности измерения: Установленная характеристика точности любого результата измерений, полученного при соблюдении требований и правил данной методики измерений.

Погрешность результата измерения: Разность между измеренным значением величины и опорным значением величины.

Неопределенность измерений: Неотрицательный параметр, характеризующий рассеяние значений величины, приписываемых измеряемой величине на основании измерительной информации.

Условия проведения измерений: Совокупность влияющих величин, описывающих состояние окружающей среды и средства измерений.

3.3.4. Обозначения и сокращения

Основные условные обозначения параметров приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Условные обозначения параметров

Условно е обозначение	Наименование параметра	Единица физической величины
L_H	Индуктивность	Гн
C	Электрическая емкость	Ф
R_H	Электрическое сопротивление	Ом
V	Вольтметр	В
G	Генератор	–

Продолжение таблицы 6

f	Частота	Гц
---	---------	----

Индексы, входящие в условные обозначения параметров, относят к величинам, характеризующим эти параметры.

Следующие индексы относятся к обозначениям:

n – нормированный;

ср – среднее значение контролируемого параметра;

min – минимальное значение контролируемого параметра;

max – максимальное значение контролируемого параметра.

3.3.5. Условия проведения измерений

Условия проведения измерений должны соответствовать основным положениям разделов 1,5,6 и 7 ГОСТ 8.563-2009.

Климатические условия эксплуатации средств измерений должны соответствовать условиям их применения, установленными изготовителями этих средств (см. таблицу 7).

Таблица 7 – Климатические условия эксплуатации средств измерений

Средство измерения	Условия
Генератор Instek SFG-71003	Температура окружающего воздуха: +10...+35°C; относительная влажность: 80%
Мультиметр APPA-303	Температура окружающего воздуха: 0...+40 °C; относительная влажность: 80%
Магазин емкости P5025	Температура окружающего воздуха: +10...+35°C; относительная влажность: 80%

Продолжение таблицы 9

Магазин сопротивлений Р33

$$\delta = \pm [0,2 + 6 \cdot 10^{-6} \cdot (R_K / R - 1)]$$

Характеристики энергоснабжения средств измерений в условиях эксплуатации должны соответствовать характеристикам, установленным изготовителями этих средств.

Средства измерения применяют только при положительных результатах поверки, которые оформляют свидетельством о поверке и (или) клеймением.

Средства измерений следует также применять в соответствии с требованиями технической документации по эксплуатации и безопасности их применения.

3.3.6. Метод измерения

Принцип метода измерения изложен в описании резонансного метода измерения.

Резонансный метод основан на измерении параметров колебательного контура, составленного из рабочего (образцового) элемента и исследуемой цепи. В качестве образцового элемента обычно используют конденсатор переменной емкости с воздушным диэлектриком, обладающий высокой стабильностью, малыми потерями и низким температурным коэффициентом емкости (ТКЕ). Градуировка рабочего конденсатора выполняется с высокой точностью: от этого зависит погрешность метода. Настраивая контур в резонанс и измеряя его добротность, далее по экспериментальным опытным данным рассчитывают параметры исследуемой цепи.

Основными источниками погрешностей при измерении параметров сосредоточенных элементов электрических цепей резонансным методом являются следующие:

1. Погрешность установки частоты диапазонного генератора и нестабильность амплитуды генерируемого им колебания, которая ведет к неточности расчета индуктивностей и активных сопротивлений;

2. Погрешность установки значения рабочей емкости;

3. Погрешность настройки контура в резонанс, которая зависит от добротности контура и приводит к неточности определения резонансного значения рабочей емкости;

4. Погрешности округления при обработке результатов косвенных измерений.

Допустим, при измерении емкости L_x возможны два варианта применения метода. Для малых значений индуктивности, когда на рабочей частоте f выполняется условие

$$\frac{1}{(2\pi f)^2 L_{\max}} < C_x < \frac{1}{(2\pi f)^2 L_{\min}}, \quad (3.3.6.1)$$

где L_{\max} и L_{\min} – соответственно максимальное и минимальное значения индуктивности катушки, исследуемую катушку включают в измерительную схему последовательно. После этого настраивают контур в резонанс (момент настройки определяется по максимуму показаний вольтметра) и фиксируют резонансное значение индуктивности. Действующее значение индуктивности рассчитывается по выражению:

$$C_x = \frac{1}{(2\pi f)^2 L}. \quad (3.3.6.2)$$

Если же емкость велика и

$$C_x > \frac{1}{(2\pi f)^2 L_{\min}}, \quad (3.3.6.3)$$

то параллельно измеряемой катушке L_x подключают образцовую катушку L_0 из рабочего комплекта прибора. В этом случае измерение осуществляют в два этапа. Сначала в измерительную схему включают только образцовую катушку, настраивают контур в резонанс и фиксируют резонансное значение рабочей емкости C_1 . Затем параллельно подключают измеряемую индуктивность, повторяют настройку контура и фиксируют новое резонансное значение рабочей емкости C_2 . Значение измеряемой индуктивности:

$$C_x = \frac{1}{(2\pi f)^2(L_2 - L_1)}. \quad (3.3.6.4)$$

При измерении относительно малых значений емкости C_x исследуемый конденсатор включают в измерительную схему к клеммам C_x параллельно рабочему конденсатору.

При измерении активного сопротивления R резонансным методом фиксируют изменение добротности, вызванное включением в него исследуемого резистора. Искомое значение затем находится расчетным путем.

3.3.7. Применяемые средства измерения

В состав измерительного комплекта входят основные узлы, перечисленные в разделе 3.1.1.

Перечень узлов определяют исходя из условий эксплуатации измерительного комплекта и технико-экономической целесообразности.

В состав электрического комплекта входят:

- генератор сигнала;
- катушка индуктивности;
- магазин электрической емкости;
- магазин сопротивлений;

– электрический вольтметр.

Генератор сигналов функционирует в полном соответствии со своим названием: генерирует сигналы, используемые в качестве воздействующих сигналов в ходе измерений параметров электронных устройств. Большинству схем требуется входной сигнал с изменяющейся во времени амплитудой. Такой сигнал может быть истинным биполярным сигналом переменного тока (пиковые значения которого попеременно поднимаются выше или опускаются ниже нулевого уровня), или он может колебаться относительно некоторого уровня постоянного напряжения (положительного или отрицательного). Форма сигнала может представлять собой синусоиду или другую периодическую функцию, цифровой импульс, двоичную последовательность или полностью произвольную форму. Генератор сигналов может создавать «идеальные» сигналы или добавлять к сигналу известные искажения (или ошибки) нужной величины и типа. Эта возможность является одним из главных достоинств генератора сигналов, поскольку часто невозможно создать предсказуемые искажения в нужном месте и в нужное время с помощью самой исследуемой схемы. Реакция исследуемого устройства на эти искажения демонстрирует его способность работать в неблагоприятных условиях, выходящих за пределы нормального режима.

Катушка индуктивности является пассивным компонентом электронных схем, основное предназначение которой является сохранение энергии в виде магнитного поля. Свойство катушки индуктивности чем-то схоже с конденсатором, который хранит энергию в виде электрического поля.

Катушка индуктивности представляет собой обмотку из проводящего материала, как правило, медной проволоки, намотанной вокруг либо железосодержащего сердечника, либо вообще без сердечника.

Индуктивности широко используются в аналоговых схемах и схемах обработки сигналов. Они в сочетании с конденсаторами и другими радиокомпонентами

образуют специальные схемы, которые могут усилить или отфильтровать сигналы определенной частоты.

Катушки индуктивности получили широкое применение начиная от больших катушек индуктивности, таких как дроссели в источниках питания, которые в сочетании с конденсаторами фильтра устраняют остаточные помехи и другие колебания на выходе источника питания, и до столь малых индуктивностей, которые располагаются внутри интегральных микросхем.

Две (или более) катушки индуктивности, которые соединены единым магнитным потоком, образуют трансформатор, являющимся основным компонентом схем работающих с электрической сетью электроснабжения. Эффективность трансформатора возрастает с увеличением частоты напряжения.

Магазины емкости декадные предназначены для применения в качестве многозначных мер электрической емкости. Принцип действия магазинов основан на ручном управлении встроенным набором высокоточных и высокостабильных емкостей.

Магазин сопротивлений – это набор точных сопротивлений (резисторов) для калибровки каких либо устройств или приборов. Магазин применяется в лабораторной и цеховой практике, когда требуется менять или регулировать в измерительных схемах сопротивление с высокой точностью. Меры конструктивно объединяются в общем корпусе, на лицевой стороне которого смонтировано переключающее устройство или наборное поле для соединения мер в требуемых сочетаниях.

Вольтметр – это прибор, назначение которого измерять электродвижущую силу (ЕДС) на определенном участке электрической цепи, или проще – прибор для измерения напряжения(разность электрических потенциалов). Этот прибор всегда подключается параллельно элементу питания или нагрузке. Измеренное значение вольтметр показывает в Вольтах.

3.3.8. Подготовка к измерениям и их проведение

					ЮУрГУ - 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

Перед измерениями проверяют:

- соответствие оборудования для проведения измерений в соответствии с техническим заданием;
- техническую исправность оборудования измерительного комплекта;
- правильность монтажа оборудования электрического комплекта;
- соответствие условиям проведения измерений требованиям в разделе 5.

По результатам проверки и в соответствии с требованиями к обеспечению необходимой точности измерений определяют условно-постоянные параметры, а по ним и различные постоянные коэффициенты.

После проверки все средства измерений приводят в рабочее состояние и измеряют действительные значения параметров, определяют количество измерений.

При обнаружении несоответствия измерений с требованиями принимают меры, направленные на исправление этого несоответствия.

3.3.9. Обработка результатов измерений

Обработка результатов измерений происходит несколькими этапами:

- проверка закона распределения полученной выборки результатов измерения в соответствии с приложением Б ГОСТ 8.736–2011 или ГОСТ Р ИСО 5479-2002;
- исключение грубой погрешности из полученной выборки по критерию Граббса в соответствии с пунктом №6 ГОСТ 8.736–2011.
- проверка выборки на постоянно возрастающую или постоянно убывающую систематическую погрешность по критерию Аббе в соответствии с приложением 2 МИ 2091–90.
- нахождение результата измерения аргумента косвенного измерения в соответствии с пунктами 7-10 ГОСТ 8.736-2011
- нахождение результата косвенного измерения выбранным методом.

					ЮУрГУ - 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

3.4 Получение экспериментальных данных измерения аргумента косвенного измерения

На данном этапе выполнения выпускной квалификационной работы магистра был проведен эксперимент для получения выборки результатов наблюдений, был проведен эксперимент.

Для измерения электрической емкости был выбран метод резонанса, в соответствии с которым номинальные значения C измерялось по схеме, представленной на рисунке 7, по формуле резонанса:

$$\omega^2 LC = 1; \quad (3.4.1)$$

$$(2\pi f)^2 LC = 1; \quad (3.4.2)$$

$$C = \frac{1}{(2\pi f)^2 L}, \quad (3.4.3)$$

где L – значение индуктивности;

f – значение частоты.

Путем прямых измерений аргументов – частоты в цепи переменного тока.

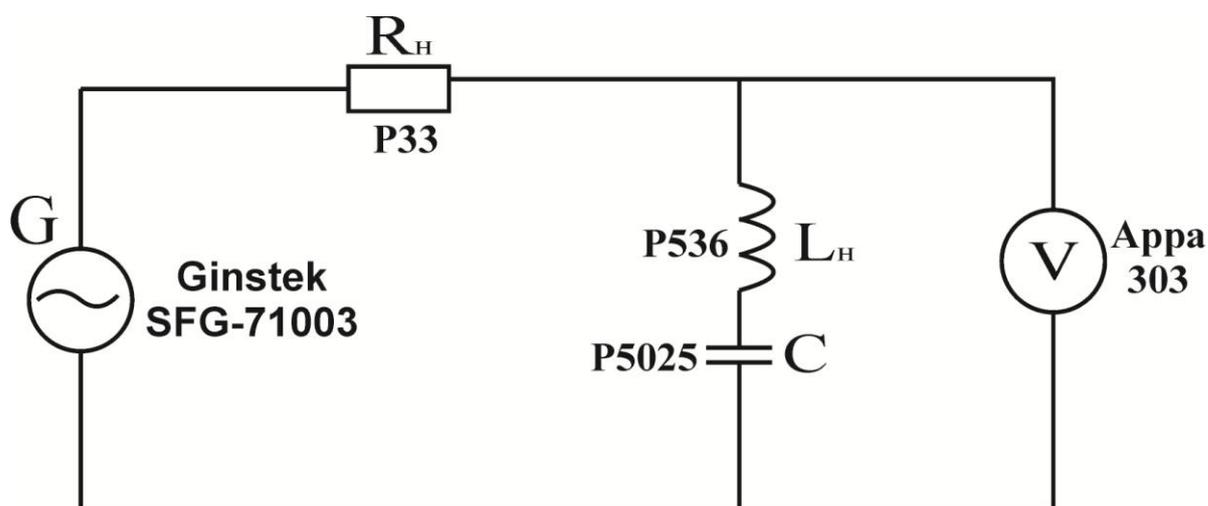


Рисунок 8 – Схема измерения



Рисунок 9 – Лабораторный стенд

Номинальное значение индуктивности: $L=0,0022$ Гн.

Номинальное значение емкости: $C=2500$ пФ

Определим количество измерений, необходимое для дальнейшей обработки данных по МИ 2091-90 [10].

Число измерений n определяется значимостью случайных погрешностей по сравнению с пределом допускаемой погрешности предполагаемого результата:

$$n \geq \frac{t^2(q,n) \cdot S^2}{\Delta_p^2}, \quad (3.4.4)$$

где $t(q,n)$ – коэффициент Стьюдента, $t(0,95, 30)=2,042$;

S – среднее квадратическое отклонение группы результатов, $S=2,729$ Гц.

Таким образом

$$\Delta_p = \sqrt{\frac{t^2(q,n) \cdot S^2}{n}} = \sqrt{\frac{2,042^2 \cdot 2,729^2}{30}} = 1,017 \text{ Гц} . \quad (3.4.5)$$

Относительная погрешность вычисляется:

$$\delta = \frac{\Delta p}{\bar{f}} * 100\%, \quad (3.4.6)$$

где \bar{f} – среднее значение частоты, $\bar{f}=67968$ Гц.

$$\delta = \frac{1,017}{67968} * 100\% = 0,0014\% \quad (3.4.7)$$

В результате измерения аргумента – частоты, получили следующую выборку из N=30 измерений.

Таблица 10 – Выборка аргумента косвенного измерения

№ измерения	f, Гц
1	67970,00
2	67990,00
3	67970,00
4	67970,00
5	67980,00
6	67970,00
7	67980,00
8	67970,00
9	67990,00
10	67950,00
11	67940,00
12	67970,00
13	67970,00
14	67970,00
15	67960,00
16	67980,00

17	67950,00
18	67980,00
19	67960,00
20	67970,00
21	67960,00
22	67980,00
23	67980,00
24	67950,00
25	67990,00
26	67970,00
27	67940,00
28	67980,00
29	67950,00
30	67960,00

3.5 Нахождение результата измерения аргумента

Обработка результат измерения аргумента выполняем в соответствии с требованиями ГОСТ 8.736-11 [11].

Среднее арифметическое результатов измерения аргумента \bar{f} :

$$\bar{f} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i = 67968 \text{ Гц.} \quad (3.4.8)$$

Среднее квадратическое отклонение (СКО) результатов наблюдения:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_i - \bar{f})^2}{n-1}} = 14,9482 \text{ Гц.} \quad (3.4.9)$$

СКО среднего арифметического (результата измерения аргумента):

$$S_{\bar{f}} = \frac{S}{\sqrt{n}} = 2,729 \text{ Гц.} \quad (3.4.10)$$

Проверка гипотезы о виде закона распределения результатов измерений при числе результатов измерений от 15 до 50 – Составной критерий [11].

H0: Результаты измерения распределены не по нормальному закону распределения

H1: Результаты измерения распределены по нормальному закону распределения

Критерий 1.

Найдем критическую статистику:

$$\tilde{d} = \frac{\sum_{i=1}^n |f_i - \bar{f}|}{nS^*}, \quad (3.4.11)$$

где S^* – смещенное СКО:

$$S^* = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_i - \bar{f})^2}{n}} = 14,697 \text{ Гц} \quad (3.4.12)$$

$$\tilde{d} = 0,8165$$

Для уровня значимости $P_{\text{дов}}=0,95$ найдем квантиль распределения:

$$d_{1-q/2} = 0,7404$$

$$d_{1/2} = 0,8625$$

Составим неравенство: результаты измерений в ряду считают распределенными нормально, если:

					ЮУрГУ - 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

$$d_{1-q/2} < \tilde{d} < d_{1/2}, \quad (3.4.13)$$

где $d_{1-q/2}$, $d_{1/2}$ – квантили распределения ($P_{\text{дов}}=0,95$).

$$0,7404 < 0,8165 < 0,8625 \quad (3.4.14)$$

Сделаем вывод: неравенство верно, отвергаем гипотезу H_0 , принимаем H_1 : результаты измерения распределены по нормальному закону распределения.

Критерий 2.

Считают, что результаты измерений принадлежат нормальному распределению, если не более m разностей $(f_i - \bar{f})$ превысили значение $Z_{p/2}S$.

Таблица 11 – Сравнительная таблица

$f_i - \bar{f}$	знак	$Z_{p/2}S$
2,0	<	34,8293
22,0	<	
2,0	<	
2,0	<	
12,0	<	
2,0	<	
12,0	<	
28,0	<	
2,0	<	
2,0	<	
2,0	<	34,8293
8,0	<	
12,0	<	
18,0	<	

8,0	<	
12,0	<	
12,0	<	
18,0	<	
22,0	<	
2,0	<	
28,0	<	
12,0	<	
18,0	<	
22,0	<	
12,0	<	
2,0	<	
28,0	<	
12,0	<	
18,0	<	
8,0	<	

Критическая статистика: $m=0$.

Квантиль распределения ($P_{\text{дов}}=0,95$): $m'=2$.

Составим неравенство: $m \leq m'$; $0 \leq 2$.

Вывод: Отвергаем гипотезу H_0 , принимаем H_1 .

Проверка гипотезы о виде закона распределения результатов измерений при числе результатов измерений от 15 до 50 – Критерий Шапиро-Уилка [51].

H_0 : Результаты измерения распределены не по нормальному закону распределения

H_1 : Результаты измерения распределены по нормальному закону распределения

Найдем критическую статистику:

$$W = \frac{S^2}{nm_2}, \quad (3.4.15)$$

где S – промежуточная сумма:

$$S = \sum a_k [f_{(n+1-k)} - f_k], \quad (3.4.16)$$

где k – индекс, имеющий значения от 1 до $n/2$ или от 1 до $(n-1)/2$ при четном и нечетном n соответственно; a_k – коэффициент, имеющий специальное значение для выборки объемом n ;

$$S = 76,545 \text{ Гц}$$

nm_2 – произведение объема на выборочный центральный момент второго порядка:

$$nm_2 = \sum (f_i - \bar{f})^2. \quad (3.4.17)$$

где $nm_2=6480\text{Гц}$

$$W=0,904$$

Квантиль распределения ($P_{\text{дов}}=0,95$): $W_{\text{кр}}=0,927$.

Составим неравенство: результаты измерений считают распределенными нормально, если:

$$W < W_{\text{кр}}. \quad (3.4.18)$$

Подставим значения в (3.4.18) и получим:

$$0,904 < 0,927.$$

Сделаем вывод: неравенство верно, отвергаем гипотезу H_0 , принимаем H_1 : результаты измерения распределены по нормальному закону распределения.

Обнаружим (исключим) грубые погрешности.

					ЮУрГУ - 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

Для исключения грубых погрешностей используют критерий Граббса [11]. Статистический критерий Граббса исключения грубых погрешностей основан на предположении о том, что группа результатов измерений принадлежит нормальному распределению.

Основная гипотеза – H_0 : наибольший f_{max} и наименьший f_{min} результат измерений вызван грубыми погрешностями.

Альтернативная гипотеза – H_1 : наибольший f_{max} и наименьший f_{min} результат измерений не содержит грубой погрешности.

Расчет критической статистики.

$$G_1 = \frac{|f_{max} - \bar{f}|}{s} \text{ и } G_2 = \frac{|\bar{f} - f_{min}|}{s}, \quad (3.4.19)$$

где G_1, G_2 – критическая статистика

Из выборки найдем: $f_{max} = 67990,0000$ Гц; $f_{min} = 67940,0000$ Гц.

Найдем критическую статистику: $G_1 = 1,4718$; $G_2 = 1,8731$.

Зададим уровень доверительной вероятности (уровень значимости): $P_{дов}=0,95$.

Найдем квантиль распределения: $G_T(P_{дов}=0,95) = 2,908$.

Составим неравенство: сравним G_1 и G_2 с теоретическим значением G_T критерия Граббса.

Если $G_1 > G_T$, то f_{max} исключают как маловероятное значение.

$$1,4718 < 2,908$$

Если $G_2 > G_T$, то f_{min} исключают как маловероятное значение.

$$1,8731 < 2,733$$

Сделаем выводы: неравенства неверны, следовательно принимаем гипотезу H_1 , отвергаем гипотезу H_0 . Наибольший f_{max} и наименьший f_{min} результат измерений не содержит грубой погрешности.

Проверка на тренды с помощью критерия Аббе [10].

Основная гипотеза – Н0: Группа результатов содержит постоянно возрастающую или постоянно убывающую систематическую погрешность.

Альтернативная гипотеза – Н1: Группа результатов не содержит постоянно возрастающую или постоянно убывающую систематическую погрешность.

Группа результатов измерения содержит постоянно возрастающую или постоянно убывающую систематическую погрешность, если выполняется неравенство:

$$\frac{S_d^2}{S^2} < v_T(q, n), \quad (3.4.20)$$

где S_d – СКО группы результатов измерений, вычисленное по формуле:

$$S_d = \sqrt{\frac{1}{2(n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} (f_{i+1} - f_i)^2}. \quad (3.4.21)$$

где v_T – квантиль распределения, соответствующий уровню значимости q и и числу измерений n в группе;

$$S_d = 17,1705 \text{ Гц.}$$

$$\text{Критическая статистика: } \frac{S_d^2}{S^2} = 1,3194.$$

$$\text{Квантиль распределения: } v_T = 0,71.$$

$$\text{Составим неравенство: } 1,3194 > 0,71$$

Таким образом отвергаем гипотезу Н0, принимаем гипотезу Н1: Группа результатов не содержит постоянно возрастающую или постоянно убывающую систематическую погрешность.

Нахождение результата измерения аргумента косвенного измерения [12].
Доверительные границы случайной погрешности оценки измеряемой величины

$$\varepsilon = tS_{\bar{f}} = 5,5811, \text{ Гц} \quad (3.4.22)$$

					ЮУрГУ - 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

где $t(p, f_{\text{эф}}) = t(0,95; 30) = 2,045$ – коэффициент Стьюдента.

Доверительные границы неисключенной систематической погрешности.

Границу НСП оценки измеряемой величины при наличии более или равном трем НСП ($m > 3$) оценивают по формуле:

$$\theta_{\Sigma} = \pm k \sqrt{\sum_{i=1}^m \theta_i^2}, \quad (3.4.33)$$

$\theta_1 = 0,002$ % – погрешность генератора сигналов;

$\theta_2 = 0,2$ % – погрешность магазина емкостей;

$\theta_3 = 0,1$ % – погрешность вольтметра;

$\theta_4 = 0,2$ % – погрешность магазина сопротивлений;

$k = 1,1$ – коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью, числом составляющих НСП и их соотношением между собой.

$$\theta_{\Sigma} = 0,502 \%$$

$$\theta_{\Sigma} = \pm 1,8599 \%$$

Доверительные границы погрешности оценки измеряемой величины:

$$\Delta = k S_{\Sigma}, \quad (3.4.34)$$

где k – коэффициент, зависящий от соотношения случайной составляющей погрешности НСП:

$$k = \frac{\varepsilon + \theta_{\Sigma}}{S_{\theta} + S_{\bar{f}}}. \quad (3.4.35)$$

S_{Σ} – суммарное СКО, вычисляемое:

					ЮУрГУ - 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S_{\theta}^2 + S_f^2}, \quad (3.4.36)$$

где S_{θ} – СКО НСП, вычисляемое:

$$S_{\theta} = \frac{\theta_{\Sigma}}{\sqrt{3}}. \quad (3.4.37)$$

$$S_{\theta} = 1,0738 \text{ Гц}$$

$$S_{\Sigma} = 2,9328 \text{ Гц}$$

$$k = 1,957$$

$$\Delta = 5,738481 \text{ Гц}$$

Результат измерения частоты: (67968 ± 6) Гц при $P_{\text{дов}} = 0,95$

Выводы по главе

На данном этапе работы был проведен эксперимент.

Для его выполнения был изучен резонансный метод измерения электрической емкости, осуществлен выбор оборудования для проведения измерения и средств измерений для экспериментального стенда, произведено планирование эксперимента, разработана методика выполнения измерений.

С помощью резонансного методы получена выборка из 30 значения. Установлен вид закона распределения. Подтверждена точность полученных экспериментальных данных. Последним шагом перед обработкой данных косвенных измерений было нахождение результата измерения аргумента, который, согласно расчетам, равен 67969 ± 6 , Гц при уровне доверительной вероятности $P_{\text{дов}} = 0,95$.

4 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

4.1. Описание программы по ГОСТ 19.402-78

4.1.1. Общие сведения

1 Обозначение и наименование программы

Программа «Модификация метода обработка данных результата косвенных измерений» имеет следующие атрибуты:

- наименование файла: Modf_method.m;
- размер файла: 12.1 КБ;
- версия файла: 3.0;
- внутреннее имя файла: Modf_method;
- язык: русский.

4.1.2 Программное обеспечение, необходимое для функционирования программы

Системные программные средства, необходимые для функционирования программы Modf_method.m:

- операционная система: Windows 10;
- MATLAB, версия не ниже R2014a.

4.1.3 Языки программирования, на которых написана программа

Исходный язык программирования: MATLAB;

Среда разработки: MATLAB R2014a.

4.2. Функциональное назначение

4.2.1 Классы решаемых задач

Программное обеспечение «Modf_method.m», предназначено для: обработки измерительной информации модифицированным традиционным методом.

					ЮУрГУ - 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72

Традиционный метод – метод исследования распределения статистик, основанный на разложении нелинейной функции в ряд Тейлора.

1. Краткое описание работы программы: Запускаем программу. Вводим наибольшую и наименьшую степени полинома. Идет сравнение введенных степеней, если минимальная степень меньше или равна максимальной, то переходим к следующему шагу, если нет, то получаем ошибку ввода и коэффициенты придется вводить снова. Далее вводим массив коэффициентов функции преобразования. Суммируется длина массивов. Выполняется проверка правильности ввода коэффициентов, если коэффициенты введены неверно, то будет ошибка, значит, необходимо ввести заново. Происходит ввод из файла результатов измерений. Выполняется расчет среднего арифметического аргумента, дисперсии, СКО аргумента, доверительный интервал случайной погрешности, СКО². Выполненные расчеты выводятся на экран. Конец программы

4.2.2 Сведения о функциональных ограничениях

Программа предназначена для работы на операционной системе Windows 10(тестирование проводилось только на этой версии ОС) в пакете программ MATLAB не ниже версии R20141a

Программа имеет собственный графический интерфейс, позволяющий вводить исходные данные в специально отведенные поля.

4.3. Описание логической структуры

4.3.1 Алгоритм программы

Алгоритм модифицированного метода косвенного измерения аргумента (рисунок 10)

					ЮУрГУ - 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

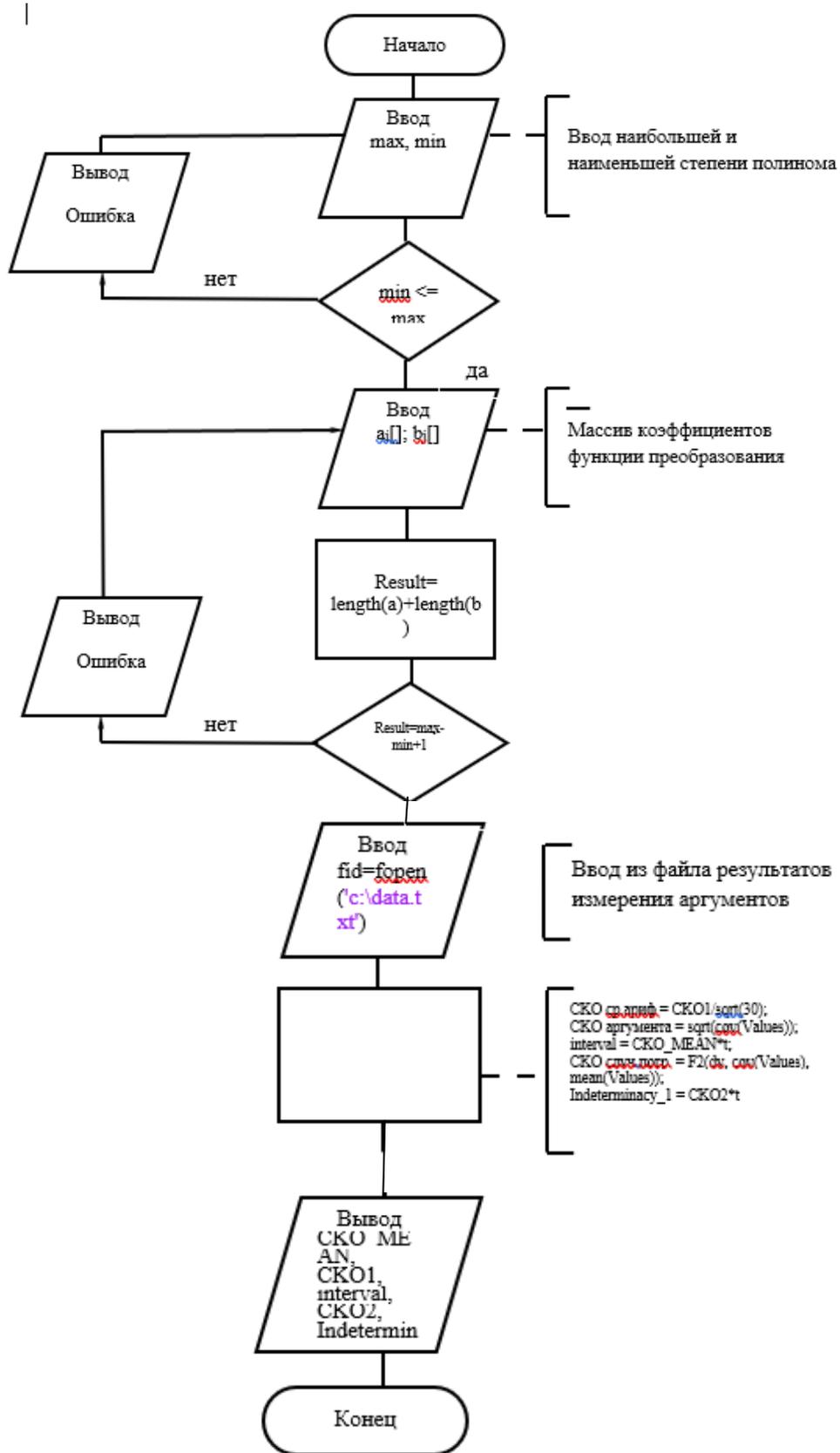


Рисунок 10 – Алгоритм модифицированного метода косвенного измерения аргумента

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

4.3.2 Структура программы с описанием функций составных частей и связи между ними

Программа «Modf_method» состоит из исполняемого файла Modf_method.m, файла с описанием интерфейса Modf_method.fig и файл-функции модификация метода.

Modf_method.m обращается к:

- файлу Modf_method.fig для вывода интерфейса на экран;
- файл-функции, содержащей алгоритм метода.

4.3.3 Связи программы с другими программами

Программа в ходе работы использует среду MATLAB версии не ниже R2014a.

4.4 Используемые технические средства

При разработке ПО обеспечения использовались следующие технические средства:

- 1) Ноутбук ASUS M200X.

Таблица 12 – Основные характеристики

Классификация	
Тип устройства	Нетбук
Модель	ASUS M200X
Установленная операционная система	Windows 10
Процессор	
Производитель процессора	Intel
Линейка процессора	Intel Core i7

Продолжение таблицы 12

Модель процессора	Core Pentium №3520
Количество ядер процессора	2
Частота	1,86 ГГц
Автоматическое увеличение частоты	Нет
Кэш L2	1 Мб
Кэш L3	0 Мб

4.4.1 Вызов и загрузка

Вызов и загрузка организуется в программе MATLAB 2014a. Для этого необходимо запустить программу MATLAB 2014a. Лицензия № 271828

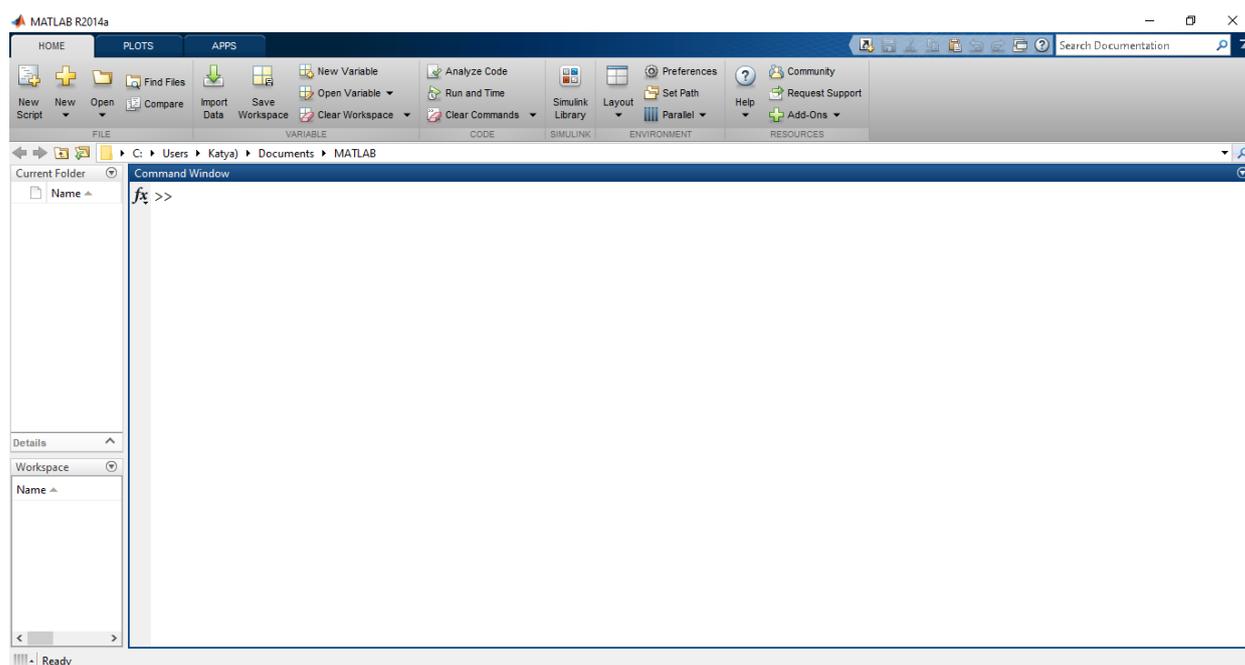


Рисунок 11 – Программа MATLAB

Затем нажать вкладку “Open”, в раскрывающемся меню выбрать “Open” далее нажать “Modf_method.m”. Открытая программа представлена на рисунке 12.

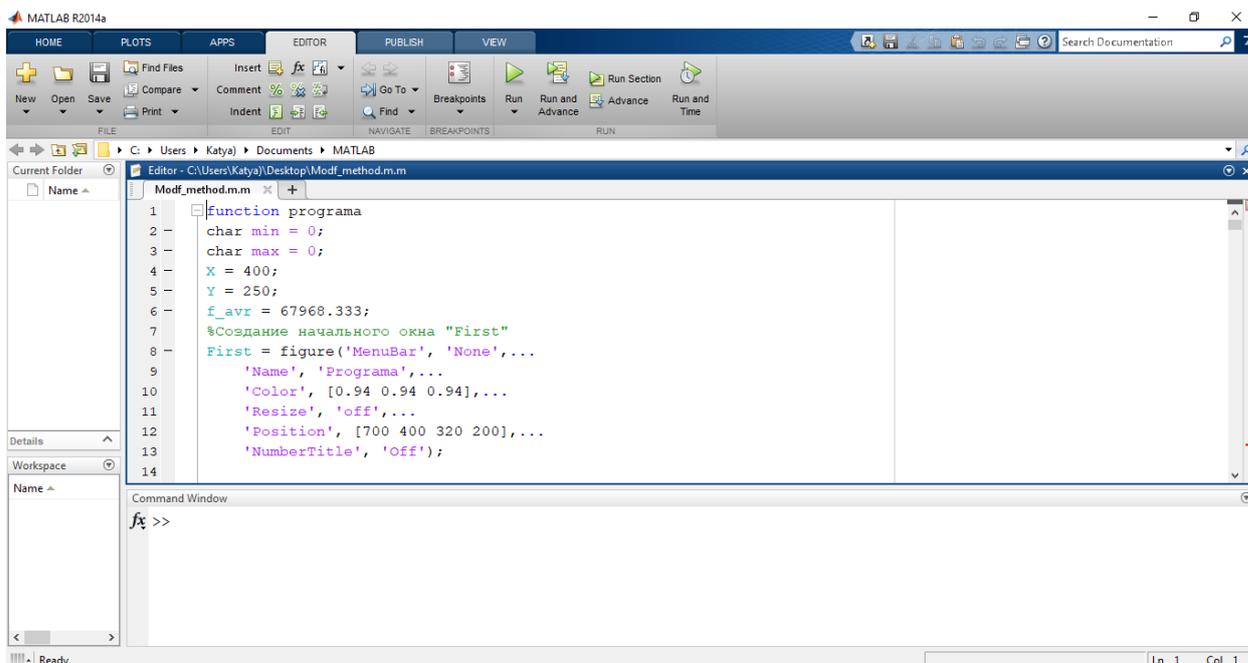


Рисунок 12 – Открытая программа Modf_method.m

Следующим действием необходимо в программе MATLAB, нажать кнопку “Run”, при запуске будет выдано следующее окно представленное на рисунке 13

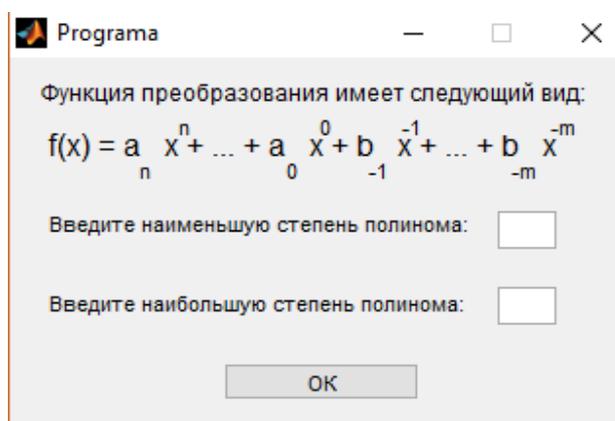


Рисунок 13 – Окно при запуске программы

В окне представлена степенная функция, необходимо ввести наименьшую и наибольшую степень полинома в нашем случае от -2 до -2 после нажать кнопку «ОК».

Затем появится окно, где нужно вести через точку с запятой начиная со старшего коэффициенты (рисунок 14)

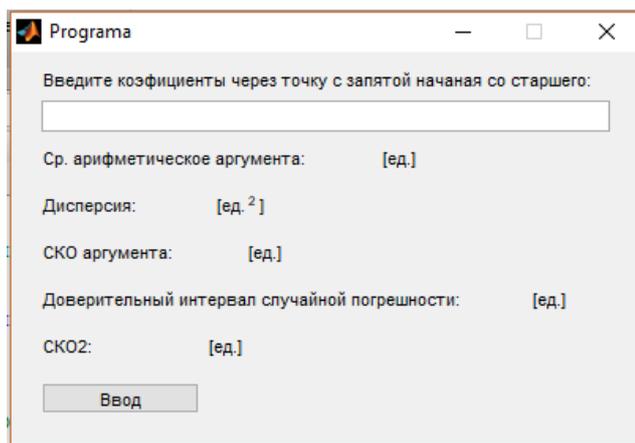


Рисунок 14 – Окно ввода коэффициентов

Вводим коэффициент в нашем случае он равен 10141. В программе существует специальная защита, которая не позволит ввести данные в другого формате.

Получаем вычисленное значение среднего арифметического аргумента, дисперсию, СКО аргумента, доверительный интервал случайной погрешности, СКО случайной погрешности косвенного измерения (рисунок 15)

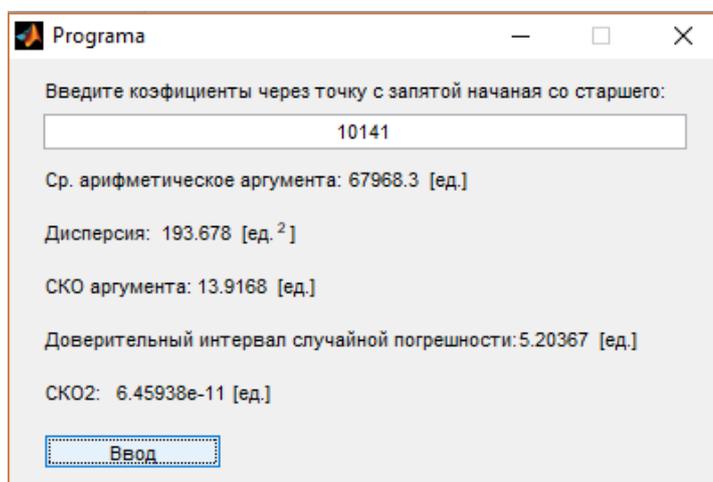


Рисунок 15 – Результат

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

4.4.2 Входные данные

Входными данными является выборка из N=30. Которая загружена в текстовом файле (рисунок 16)

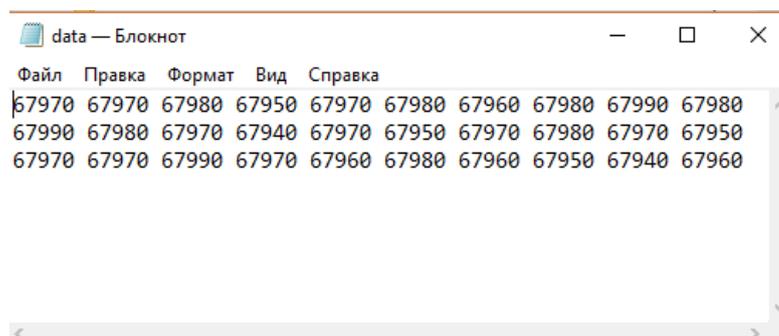


Рисунок 16 – выборка из N=30

Пусть к данным указан в самой программе (рисунок 17)

```
fid=fopen('c:\data.txt');
```

Рисунок 17 – указанный путь к данным из текстового файла

4.4.3 Выходные данные

Результатом работы программы является вывод в окно интерфейса значений результата измерения, среднего квадратического отклонения и полной погрешности результата измерения.

4.5 Руководство оператора по ГОСТ 19.505-79

4.5.1 Назначение программы

Программа предназначена для обработки измерительной информации модифицированного традиционного метода.

4.5.2 Условия выполнения программы

Для выполнения данного раздела необходим следующий состав аппаратных и программных средств:

1) Персональный компьютер либо нетбук. В данной ВКР использовался нетбук фирмы ASUS, модель ноутбука M200X;

2) Программа MATLAB;

4.5.3 Выполнение программы

В данном разделе необходимо описать последовательность действий оператора, обеспечивающих загрузку, запуск, выполнение, завершение программы.

4.5.4. Загрузка программы

Для выполнения данного действия оператору необходимо:

1) Запустить на ПК (нетбуке), программу MATLAB;

2) В программе MATLAB нажать вкладку “open” в раскрывающемся меню выбрать “Open”, далее оператору будет предложено выбрать файл, необходимо будет открыть папку с расположением программы и выбрать файл” Modf_method.m ”, нажать кнопку открыть. Открытая программа представлена на рисунке 18

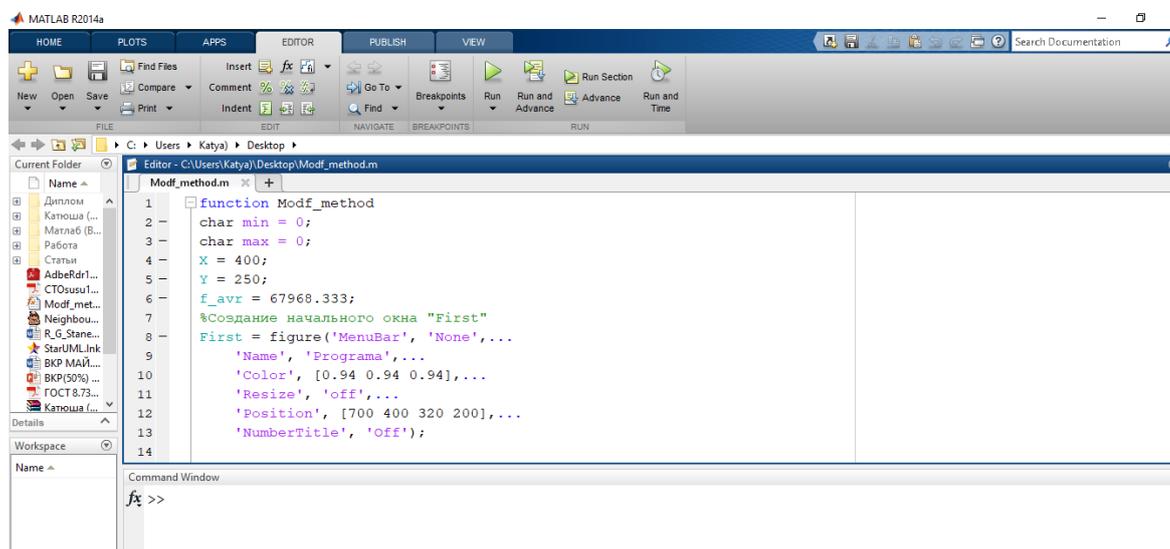


Рисунок 18 – Открытая программа

4.5.5. Запуск и выполнение программы

В программе MATLAB, нажать кнопку “RUN” или «F5», представленное на рисунке 19

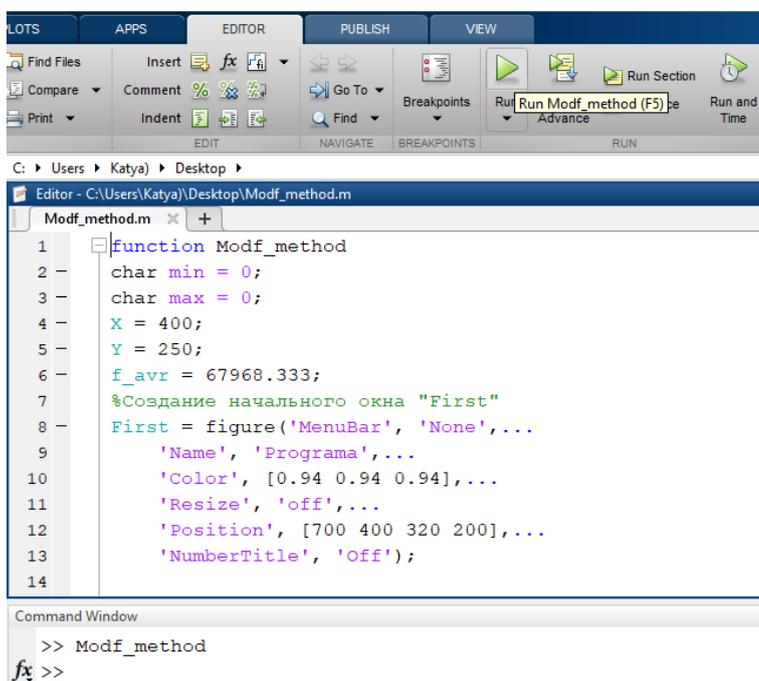


Рисунок 19 – кнопка запуска программы

Далее появится окно, где нужно ввести наименьшую и наибольшую степень полинома для данной функции от минус 2 до минус 2 и затем нажать кнопку «Ок» (рисунок 20)

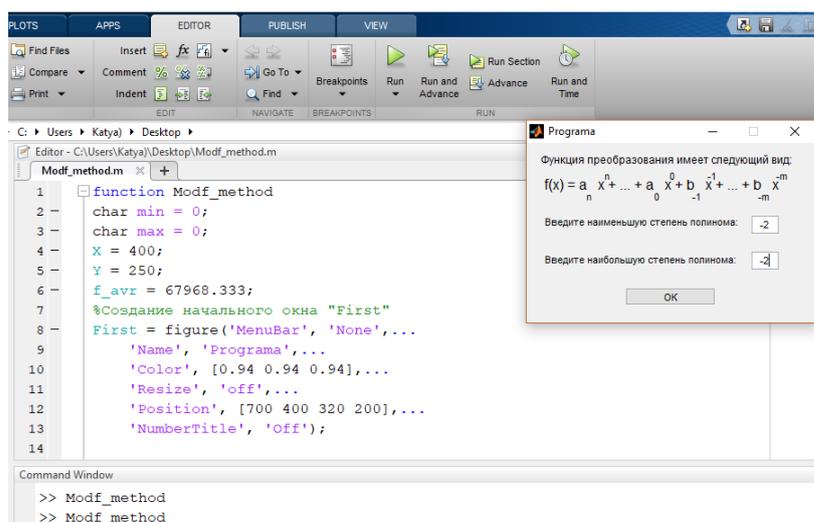


Рисунок 20 – Работа программы

Затем появится окно, где нужно ввести коэффициенты, вводим коэффициент в нашем случае он равен 10141 (рисунок 21)

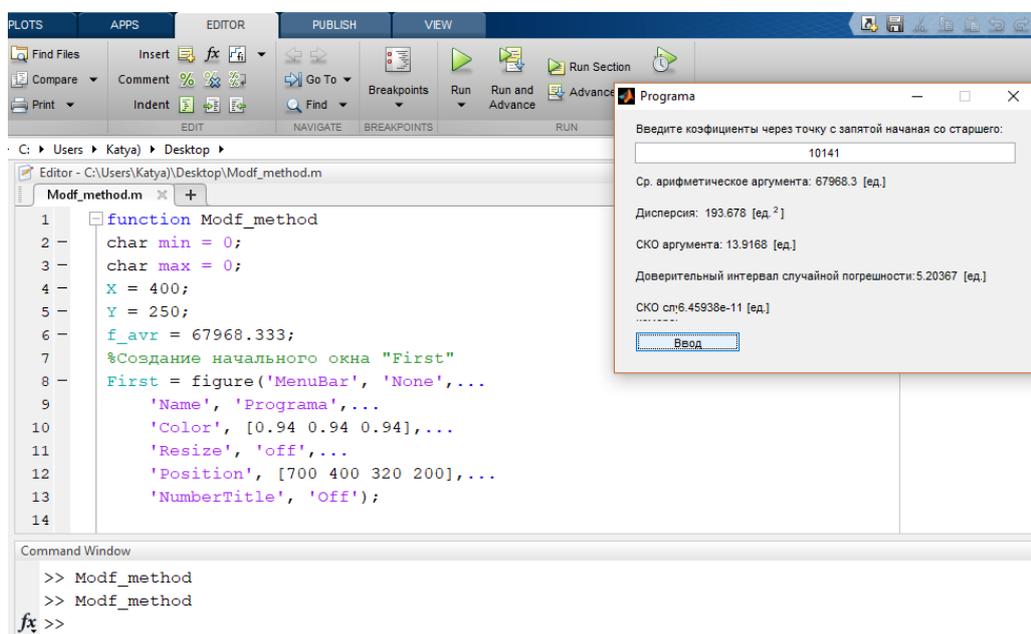


Рисунок 21 – Введенный коэффициент

В программе существует специальная защита, которая не позволит ввести коэффициенты в другого формате, для проверки работы защиты введем букву «к» и нажмем кнопку ввод, получим ошибку, которая предупреждает пользователя о неправильном формате ввода коэффициентов (рисунок 22)

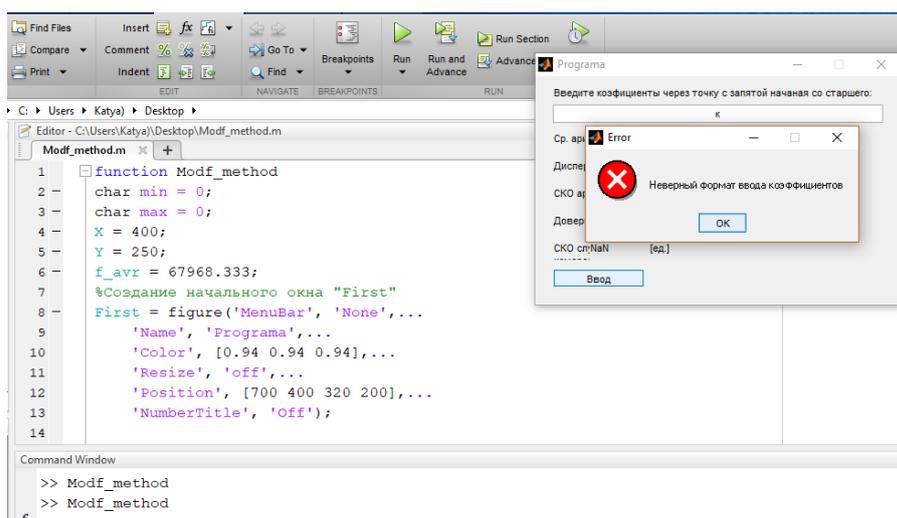


Рисунок 22 – Ошибка ввода коэффициентов

Результатом работы программы является вывод в окно интерфейса значений результата измерения, среднее арифметическое аргумента, дисперсия, СКО аргумента, доверительный интервал случайной погрешности, СКО случайно погрешности косвенного измерения.

4.5.6. Завершение работы

Для завершения работы программы необходимо нажать кнопку “” выделенную на рисунке 23:

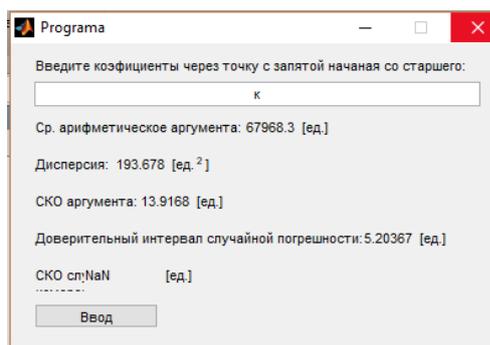


Рисунок 23 – Завершение работы программы.

Закреть программу MATLAB;

4.6 Руководство программиста по ГОСТ 19.503-79

4.6.1 Общие сведения о программе

Программное обеспечение «Modf_method.m», предназначено для: обработки измерительной информации модифицированным традиционным методом.

Для выполнения данного раздела необходим следующий состав аппаратных и программных средств:

1) Персональный компьютер либо нетбук. В данной ВКР использовался нетбук фирмы ASUS, модель ноутбука M200X;

2) Программа MATLAB;

4.6.2 Структура программы с описанием функций составных частей и связи между ними

Программа «Modf_method.m» состоит из исполняемого файла Modf_method.m, файла с описанием интерфейса Modf_method.fig и файл-функции модифицированный метод.

Modf_method.m обращается к:

- файлу Modf_method.fig для вывода интерфейса на экран;
- файл-функции, содержащей алгоритм метода.

4.6.3 Связи программы с другими программами

Программа в ходе работы использует среду MATLAB версии не ниже R2014a.

4.6.4 Используемые технические средства

Нетбук (минимальные требования): процессор Intel Pentium, ОЗУ 16 Мбайт, видеокарта 16 Мбайт, свободное место на жестком диске 10 Мбайт.

4.6.5 Проверка программы и системные сообщения программисту

Для проверки работы программы необходимо запустить файл ” Modf_method.m ” в программе MATLAB. После запуска нажать кнопку “Run” будет выполнен запуск программы, после запуска программы, появится окно, где нужно ввести наименьшую и наибольшую степень полинома для данной функции от минус 2 до минус 2 и затем нажать кнопку «Ок» При наличии ошибок в коде программы, в поле “Command Window” будут отражаться ошибки, которые не позволяют программе выполнить запуск пример приведен на рисунке 24

```
115 'String', 'Доверительный интервал случайной погрешности:',...
116 'HorizontalAlignment', 'left',...
117 'Position', [20, Y-170, 270, 20]);
118 %Создание статического текста "СКО2:" (Окно: Second)
119 uicontrol('Style', 'Text',...
120 'String', 'СКО случайной погрешности косвенного измерения:',...
121 'HorizontalAlignment', 'left',...
122 'Position', [20, Y-200, 270, 20]);
123 %Создание статического текста "Значение дисперсии" (Окно: Second)
124 % Cov = uicontrol('Style', 'Text',...
125 'String', ' ',...
126 'HorizontalAlignment', 'left',...
127 'Position', [85, Y-110, 90, 20]};
```

Command Window

```
Modf_method
>> Modf_method
>> Modf_method
Error: File: Modf_method.m Line: 127 Column: 41
Unbalanced or unexpected parenthesis or bracket.
```

Рисунок 24 – Вывод ошибок в поле” Command Window”

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выпускной квалификационной работы были решены все задачи, поставленные ранее:

1. Проведен информационный поиск источников по теме исследования.
2. Разработана новая модификация традиционного метода обработки данных косвенных измерений, с уточненной моделью случайной составляющей погрешности.
3. Разработано новое программное обеспечение модифицированного метода обработки данных косвенных измерений.
4. Проведено экспериментальное исследование модифицированного метода.

					ЮУрГУ - 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		85

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абрамов, Г.С. Подход к оценке погрешности вычисления массы нефти как к косвенному методу измерения / Г.С. Абрамов // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2010. – Вып. 3. - №3. – с. 1-3

2. Авдеев, Б.Я. Основы метрологии и электрические измерения / Б.Я. Авдеев, Е.М. Антонюк, Е.М. Душин. – Энергоатомиздат, 1987. – 480 с.

3. ГОСТ Р 8.54500.3-2011 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. – М.: Стандартинформ, 2011. – 101 с.

4. ГОСТ 8.736-2011 ГСИ. Измерения прямые многократные. – М.: Стандартинформ, 2011. – 18 с.

5. Димов, В.Ю. Метрология, стандартизация и сертификация / В.Ю. Димов. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2005. – 432 с.

6. Дмитриева, О.В. Обработка результатов измерений. Учебное пособие / О.В. Дмитриева. – Курган, 2013. – 31 с.

7. Добровинский, И.Р. Перспективы использования косвенных совокупных измерений для определения параметров электрических цепей / И.Р. Добровинский, Е.А. Ломтев, К.В. Громиков // Мир измерений. – 2007. – Вып. 1. – №2. – С. 45–48

8. Захаров, И.П. Сравнительный анализ методов обработки экспериментальных данных при косвенных некоррелированных измерениях. Учебное пособие для ВУЗов / И.П. Захаров, С.Г. Рабинович. – Краснодар, 2008. – 20 с.

9. Колчков, В.И. Метрология, стандартизация и сертификация. Учебное пособие / В.И. Колчков. – Москва, 2015. – 312 с.

10. Кравченко, Н.С. Методы обработки результатов измерений и оценки погрешностей в учебном лабораторном практикуме / Н.С. Кравченко, О.Г. Ревинская. – Изд-во: Томский политехнич. унив. – 2011. – 88с.

					ЮУрГУ - 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		86

11. Майстренко, А.В. Косвенное измерение расхода жидкости / А.В. Майстренко, А.А. Светлаков // Доклады Томского Государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2014. – Вып. 2. - №2 (34). – С. 215–219

12. МИ 2083-90 ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерения и оценивание их погрешностей. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 10 с.

13. МИ 2091-1990 ГСИ. Измерение физических величин. Общие требования. – М.: ВНИИМС, 1992. – 19 с.

14. Моисеева, Н.П. Неопределенность измерения температуры косвенным методом / Н.П. Моисеева. – 2010. – №11. – с. 41-44

15. Намитоков, К.К. Испытание аппаратов низкого напряжения / К.К. Намитоков. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 164 с.

16. ОСТ 1 00487-1983 Метрологическое обеспечение испытаний газотурбинных двигателей. Метрологическая аттестация измерительных каналов информационно-измерительных систем. – М.: Стандартиформ, 1983. – 19 с.

17. Применение метода перебора для оценивания неопределенности косвенных некоррелированных измерений [Электронный ресурс]. Режим доступа: [soi_2011_4_6%20\(1\).pdf](#)

18. Ранченко, Г.С. Оценка погрешностей косвенных измерений при испытаниях газотурбинных двигателей / Г.С. Ранченко, А.Г. Буряченко, Д.И. Волков // Доклады Томского Государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2009. – Вып. 4. - №1 (22). – С. 174–177

19. РМГ 29-2013 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения. – М.: Стандартиформ, 2014. – 60 с.

20. Сахавова, А.А. Применение метода косвенного определения вебер-амперных характеристик в автоматизированной системе бессенсорной диагностики электромагнитных механизмов / А.А. Сахавова, К.М. Широков,

С.Г. Январев // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – Вып 2. - №5. – С. 63–70

21. Серенков, П.С. Системный подход к моделированию измерительного канала как механизм обеспечения доверия к результатам измерений / П.С. Серенков, Е.Н. Савкова // Приборы и методы измерений. – 2012. – Вып. 1. - №1 (4). – С. 127–133

22. Слинкин, С. А. Измерение больших диаметров косвенными методами измерения. Перспективы развития средств измерения / С. А. Слинкин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2014. – Т.14, №2. – С. 111–115.

23.Соболь, И.М. Численные методы Монте Карло М: изд-во «Наука» 1973-312 с.

24.Шитиков, В.К. Рандомизация и бутстреп: статистический анализ в биологии и экологии с использованием R/ В.К.Шитиков, Г.С. Розенберг, Тольятти 2013 – 314с.

25.Levin, S.F. Reduction scheme in the method of indirect measurement / S.F. Levin // J. Measurement techniques. – 2004. – V. 47, №3. – P. 216–233

26. Arutyumov, P.A. Indirect measurements in finite fields / P.A. Arutyumov // J. Measurement techniques. – 2009. – V.42, №4. – P. 324-331

27. Ball, C.G. Progression towards the minimum: the importance of standardizing the priming volume during the indirect measurement of intra-abdominal pressures / C.G. Ball, A.W. Kirkpatrick // J. Critical Care. – 2006. – №43. – P. 207–211

28. Ferregut, C. Fast error estimates for indirect measurements: applications to pavement engineering / C. Ferregut, S. Nazarian, K. Venalaganti, C. C. Chang, V. Kreinovich //J. Reliable computing. – 2006. V.2, №3. – P.291-228

29.Geddes, L.A. The direct and indirect measurement of blood pressure / L.A. Geddes // J. Medical and biological engineering. – 1970. – V.8, №6. – P. 605-606

					ЮУрГУ - 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		88

30. Granovskii, V.A. Errors of indirect dynamic measurements: Linear model Measurement techniques / V.A. Granovskii. – 2004. – V.37, №8. – P. 854-858

31. Hoseinkani, E. Comparison of direct and indirect measurements of the saturation magnetization of barium hexaferrite synthesized by coprecipitation / E. Hoseinkani, M. Mehdipour, H. Schollahi // J: Journal of electronic materials. – 2013. – V.42, №4. – P. 739-744

32. Johannes, A.H. Modeling of through fall chemistry and indirect measurement of Dry Deposition / A.H. Johannes, Y.L. Chen, K. Dackson, T. Suleski //J. Acidic Precipitation. – 1996. – V.27, №6. – P. 211–216

33. Kudryshova, Z. F. Methods of experimental data processing in indirect measurements, in Methods of experimental data processing in measurements / Z.F. Kudryshova , S.G. Rabinovich // J. Proceedings of the Metrological Institutes of the USSR D.I. Mendeleev All-Union Scientific Institute of Metrology. – 1975. – № 172 (232)

34. Labutin, S.A. Summation of Random Measurement Errors and Analysis of Indirect-Measurement Errors by Monte-Carlo Method / S.A. Labutin, M.V. Pugin // J. Measurement techniques. – 2010. – V.43, №11. – P. 918-922

35. Peam, W.L. Bootstrap approach for estimating process quality yield with application to light emitting diodes. / W.L. Peam, Y.C. Chang, Chien-Wei Wu // J. Springer-Verlag. – 2009. – P. 560-565

36. Pitsyk, V.V. Contactless Method of Indirect Measurement of the Distance between Points of a Reflecting Surface / V.V. Pitsyk // J. Measurement techniques. – 2011. – V.44, №3. – P. 261-264

37. Pizzone, R.G. Li, Be and B Destruction in Astrophysical Environments: Indirect Cross Section Measurements / R.G. Pizzone, C. Spitaleri, L. Lamia, S. Cherubini, M. la Cognata, A. Mussumara M.G. Pellegriti, S. Romano, A. Tumino // J. Chemical Abundances and Mixing in Stars in the Milky Way and its Satellites. – 2004. P. 171-172

					ИОУрГУ - 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		89

38. Rabinovich, S. Measurement errors and uncertainty: theory and practice / S.G. Rabinovich. – 3rd edn. – New York: Springer. 2005. – 308 p.

39. Rabinovich, S.G. Examples of Measurements and Measurement Data Processing / S.G. Rabinovich // J. Measurement techniques. – 2014. – V.87, №5. – P. 234 – 256

40. Savin, S.K. Some aspects of enhancement of accuracy in results of indirect measurements / S.K. Savin // J. Measurement techniques. – 2002. – V.35, №3. – P. 253-258

					ЮУрГУ - 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		90

ПРИЛОЖЕНИЕ А

```
function Modf_method
char min = 0;
char max = 0;
X = 440;
Y = 250;
f_avr = 67968.333;
%Создание начального окна "First"
First = figure('MenuBar', 'None',...
    'Name', 'Modf_method',...
    'Color', [0.94 0.94 0.94],...
    'Resize', 'off',...
    'Position', [700 400 320 200],...
    'NumberTitle', 'Off');

%Создание статического текста "Функция преобразования имеет
следующий вид:" (Окно: First)
uicontrol('Style', 'Text',...
    'String', 'Функция преобразования имеет следующий вид:',...
    'HorizontalAlignment', 'left',...
    'FontSize', 9,...
    'Position', [16,170,300,20]);

%Создание статического текста "Введите наибольшую степень
полинома:" (Окно: First)
uicontrol('Style', 'Text',...
    'String', 'Введите наибольшую степень полинома:',...
    'HorizontalAlignment', 'left',...
    'Position', [20,58,250,20]);

%Создание статического текста "Введите наименьшую степень
полинома:" (Окно: First)
uicontrol('Style', 'Text',...
```

					ЮУрГУ - 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		91

```

    'String', 'Введите наименьшую степень полинома:',...
    'HorizontalAlignment', 'left',...
    'Position', [20,100,250,20]);

%Создание статического текста Индексы(Окно: First)
uicontrol('Style', 'Text',...
    'String', 'n          0          -1
-m',...
    'HorizontalAlignment', 'left',...
    'FontSize', 8,...
    'Position', [66 137 400 10.6]);

%Создание статического текста "f(x) = a x + ... + a x + b x + ... +
b x"(Окно: First)
uicontrol('Style', 'Text',...
    'String', 'f(x) = a  x + ... + a  x + b  x + ... + b  x',...
    'HorizontalAlignment', 'left',...
    'FontSize', 12,...
    'Position', [20 145 400 20]);

%Создание статического текста Степени(Окно: First)
uicontrol('Style', 'Text',...
    'String', 'n          0          -1
-m',...
    'HorizontalAlignment', 'left',...
    'FontSize', 8,...
    'Position', [86 160.3 400 10.4]);

%Создание кнопки (Окно: First)
uicontrol('Style', 'pushbutton',...
    'String', 'OK',...
    'Position', [110,20,100,20],...

```

					ЮУрГУ - 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		92

```

        'Callback', @PressButton);
%Создание окна для ввода максимальной степени (Окно: First)
EditMax = uicontrol('Style', 'Edit',...
    'BackgroundColor', 'white',...
    'Position', [250,60,30,20]);
%Создание окна для ввода минимальной степени (Окно: First)
EditMin = uicontrol('Style', 'Edit',...
    'BackgroundColor', 'white',...
    'Position', [250,100,30,20]);

function PressButton(h, eventdata)
    max = str2double(get(EditMax, 'String'));
    min = str2double(get(EditMin, 'String'));
    if min <= max
        delete(First);
    %Создание окна "Second"
    Second = figure('MenuBar', 'None',...
        'Name', 'Modf_method',...
        'Color', [0.94 0.94 0.94],...
        'Resize', 'off',...
        'Position', [650 400 X Y],...
        'NumberTitle', 'Off');

    %Создание окна для ввода коэффициентов (Окно: Second)
    EditCof = uicontrol('Style', 'Edit',...
        'BackgroundColor', 'white',...
        'Position', [20,Y-50,X-40,20]);
    %Создание кнопки (Окно: Second)
    pushbutton_vvod = uicontrol('Style', 'pushbutton',...
        'String', 'Ввод',...
        'Position', [20,20,100,20],...
        'Callback', @Vvod);

```

```

%Создание статического текста "Введите коэффициенты через
точку с запятой начиная со старшего:" (Окно: Second)
    uicontrol('Style', 'Text',...
        'String', 'Введите коэффициенты через точку с запятой,
начиная со старшего:',...
        'HorizontalAlignment', 'left',...
        'Position', [20,Y-30,360,20]);
%Создание статического текста "Ср. арифметическое:" (Окно:
Second)
    uicontrol('Style', 'Text',...
        'String', 'Ср. арифметическое аргумента:',...
        'HorizontalAlignment', 'left',...
        'Position', [20,Y-80,170,20]);
%Создание статического текста "СКО аргумента:" (Окно:
Second)
    uicontrol('Style', 'Text',...
        'String', 'СКО аргумента:',...
        'HorizontalAlignment', 'left',...
        'Position', [20,Y-110,90,20]);
%Создание статического текста "Доверительный интервал
случайной погрешности аргумента:" (Окно: Second)
    uicontrol('Style', 'Text',...
        'String', 'Доверительный интервал случайной погрешности
аргумента:',...
        'HorizontalAlignment', 'left',...
        'Position', [20,Y-140,325,20]);
%Создание статического текста "СКО случайной погрешности
косвенного измерения:" (Окно: Second)
    uicontrol('Style', 'Text',...
        'String', 'СКО случайной погрешности косвенного
измерения:',...
        'HorizontalAlignment', 'left',...
        'Position', [20,Y-170,270,20]);

```

					ЮУрГУ - 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		94

```

%Создание статического текста "Погрешность косвенного
измерения:" (Окно: Second)
    uicontrol('Style', 'Text',...
        'String', 'Погрешность косвенного измерения:',...
        'HorizontalAlignment', 'left',...
        'Position', [20,Y-200,190,20]);
%Создание статического текста "Значение Ср. арифметического"
(Окно: Second)
    Mean = uicontrol('Style', 'Text',...
        'String', ' ',...
        'HorizontalAlignment', 'left',...
        'Position', [190,Y-80,200,20]);
%Создание статического текста "[ед.] Ср. арифметического"
(Окно: Second)
    uicontrol('Style', 'Text',...
        'String', '[ед.]',...
        'HorizontalAlignment', 'left',...
        'Position', [235,Y-80,110,20]);
%Создание статического текста "Значение СКО аргумента"
(Окно: Second)
    СКО = uicontrol('Style', 'Text',...
        'String', ' ',...
        'HorizontalAlignment', 'left',...
        'Position', [108,Y-110,40,20]);
%Создание статического текста "[ед.] СКО аргумента" (Окно:
Second)
    uicontrol('Style', 'Text',...
        'String', '[ед.]',...
        'HorizontalAlignment', 'left',...
        'Position', [153,Y-110,50,20]);
%Создание статического текста "значение доверительного
интервала случайной погрешности" (Окно: Second)
    Interval = uicontrol('Style', 'Text',...

```

```

        'String', ' ',...
        'HorizontalAlignment', 'left',...
        'Position', [345,Y-140,40,20]);

    %Создание статического текста "[ед.] Доверительного
интервала случайной погрешности аргумента" (Окно: Second)
    uicontrol('Style', 'Text',...
        'String', '[ед.]',...
        'HorizontalAlignment', 'left',...
        'Position', [390,Y-140,50,20]);

    %Создание статического текста "Значение СКО2" (Окно: Second)
    СКО_2 = uicontrol('Style', 'Text',...
        'String', ' ',...
        'HorizontalAlignment', 'left',...
        'Position', [292,Y-170,80,20]);

    %Создание статического текста "[ед.] СКО2" (Окно: Second)
    uicontrol('Style', 'Text',...
        'String', '[ед.]',...
        'HorizontalAlignment', 'left',...
        'Position', [360,Y-170,40,20]);

    %Создание статического текста "Значение погрешности
косвенного измерения" (Окно: Second)
    Indeterminacy = uicontrol('Style', 'Text',...
        'String', ' ',...
        'HorizontalAlignment', 'left',...
        'Position', [215,Y-200,80,20]);

    %Создание статического текста "[ед.] погрешности косвенного
измерения" (Окно: Second)
    uicontrol('Style', 'Text',...
        'String', '[ед.]',...
        'HorizontalAlignment', 'left',...
        'Position', [280,Y-200,40,20]);
else
    msgbox('Неверный ввод степени полинома',...

```

```

        'Error', 'error', 'Modal');
end
function Vvod(pushbutton_vvod, eventdata)
    Result = GetCoefficients(get(EditCof, 'string'));
    if length(Result) == max - min + 1
        y = F(f_avr, Result, max); % значение функции при
f_avr
        Values = GetValue(); % выборка из файла
        dy_cof = F1(Result, max); % коэффициенты частной
производной
        dy = F(f_avr, dy_cof, max-1); % значение частой
производной в точке f_avr
        SKO1 = sqrt(cov(Values)); % определение СКО
        SKO_MEAN = SKO1/sqrt(30); % определение СКО среднего
        t = Student(28); % квантиль распределения Стьюдента
(степень свободы=28)
        interval = SKO_MEAN*t;
        SKO2 = F2(dy, cov(Values), mean(Values));
        Indeterminacy_1 = SKO2*t;

        % Вывод ср. арифметического
        set(Mean, 'string', mean(Values));
        % Вывод СКО
        set(SKO, 'string', SKO1);
        % Вывод доверительного интервала
        set(Interval, 'string', interval);
        % Вывод СКО_2
        set(SKO_2, 'string', SKO2);
        % Вывод погрешности косвенного измерения
        set(Indeterminacy, 'string', Indeterminacy_1);
    else
        msgbox('Неверное количество коэффициентов', ...
            'Error', 'error', 'Modal');
    end
end

```

					ЮУрГУ - 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР	Лист
						97
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		


```

        end

    end

end

% скрипт для функции
function y = F(x, Result, max)
    f = 0;
    for j = 1:length(Result)
        f = f + Result(j)*x^(max);
        max = max - 1;
    end
    y = f;
end

% скрипт для частной производной
function dy_cof = F1(Result, max)
    for j = 1:length(Result)
        f(j) = (max)*Result(j)*1^(max-1);
        max = max - 1;
    end
    dy_cof = f;
end

% скрипт для СКО
function СКО = F2(dy, D, M)
    СКО = sqrt(dy^2*((D/M^2)^2-(2*D/M^2)+1));
end

% скрипт для квантилей Стюдента
function t = Student(n)
    f = [3 4 5 6 7 8 9 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30];
    T = [3.182 2.776 2.571 2.447 2.365 2.306 2.262 2.228 2.179
2.145 2.120 2.101 2.086 2.074 2.064 2.056 2.048 2.042 1.960];

```

```

for j = 1:length(f)
    if f(j) == n
        t = T(j);
    end
end
if n > 30
    t = T(18);
end
end
end
end

```

`% скрипт для коэффициентов`

```

function Result = GetCoefficients(String)
    Result = 0;
    b = 1;
    count = 0;

    for i = 1:length(String)
        if isletter(String)
            msgbox('Неверный формат ввода коэффициентов', ...
                'Error', 'error', 'Modal');
        end
    end

    for i = 1:length(String)
        if String(i) == ' '
            count = count + 1;
        end
    end

    for i = 1:length(String) - count
        if String(i) == ' '
            for j = i:length(String)-1
                String(j) = String(j+1);
            end
        end
    end
end

```

					ЮУрГУ - 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		99

```

        end
    end
    j = 1;
    for i = 1:length(String)-count
        if String(i) == ';'
            a = 1;
            Data = '0';
            for k = j:i-1
                Data(a) = String(k);
                a = a + 1;
            end
            Result(b) = str2double(Data);
            j = i+1;
            b = b + 1;
        end;
        a = 1;
        Data = '0';
        for i = j:length(String)-count
            Data(a) = String(i);
            a = a + 1;
        end
        Result(b) = str2double(Data);
    end
end

% скрипт для чисел из файла
function Values = GetValue()
    fid=fopen('c:\data.txt');
    b = 1;
    Values = 0;
    while feof(fid)== 0
        Mas = fgetl(fid);
        j = 1;
        for i = 1:length(Mas)

```

```

        if Mas(i) == ' '
            a = 1;
            Data = '0';
            for k = j:i-1
                Data(a) = Mas(k);
                a = a + 1;
            end
            Value(b) = str2double(Data);
            j = i+1;
            b = b + 1;
        end
    end
    a = 1;
    Data = '0';
    for i = j:length(Mas)
        Data(a) = Mas(i);
        a = a + 1;
    end
    Value(b) = str2double(Data);
    b = b + 1;

end

fclose(fid);
Values = Value;

end
end

```

					ЮУрГУ - 12.03.01. 2018. 114-278. ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		101