

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСТОЯННЫХ РЕЗИСТОРОВ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

***Методические указания
по выполнению лабораторной работы***



УДК 621. 315.61
УДК 621. 317.335.2

Абрамов В.Б., Карпанин О.В., Медведев С.П., Метальников А.М., Печерская Р.М. **Исследование постоянных резисторов.** //Методические указания по выполнению лабораторной работы. ПГУ, каф. НиМЭ, Пенза, 2009.

Методические указания подготовлены на кафедре нано- и микроэлектроники Пензенского государственного университета и предназначены для выполнения лабораторной работы по исследованию температурных зависимостей параметров постоянных резисторов на автоматизированном лабораторном стенде.

Указания предназначены для использования в учебном процессе при подготовке специалистов инженеров, а также бакалавров и магистров по укрупненной группе специальностей и направлений подготовки 210000 – Электронная техника, радиотехника и связь.

Кафедра нано- и микроэлектроники Пензенского государственного университета

СОДЕРЖАНИЕ

1 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ	4
1.1 Основные сведения о резисторах	4
1.1.1 Классификация резисторов.....	4
1.1.2 Основные параметры резисторов	4
1.1.3 Резисторы постоянного сопротивления	5
1.2 Некоторые сведения из теории вероятности	6
1.2.1 Числовые характеристики случайных величин	6
1.2.2 Нормальный закон распределения	6
1.2.3 Статистическое распределение выборки	7
2 ОПИСАНИЕ РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА	7
2.1 Структура автоматизированного лабораторного стенда.....	7
2.2 Измерительный блок	9
3 ОПИСАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ	10
3.1 Основное окно программы	10
3.2 Окно схемы измерений	12
3.3 Рабочая тетрадь	13
3.4 Инструменты	18
3.4.1 Характериограф	18
3.4.2 Коммутатор объектов	19
3.4.3 Измеритель температуры.....	20
3.4.4 Нагреватель	20
3.5 Обработка результатов измерений	21
3.5.1 Построение и редактирование выражений	21
3.5.2 Копирование результатов в MS Excel	22
3.5.3 Построение и редактирование графиков	24
3.5.4 Формирование отчета	24
4 ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ	26
4.1 Виды исследований	26
4.2 Порядок выполнения работы.....	27
5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	27
ЛИТЕРАТУРА	28

1 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

1.1 Основные сведения о резисторах

1.1.1 Классификация резисторов

По виду вольт – амперной характеристики различают резисторы линейные и нелинейные. В нелинейных резисторах в качестве токопроводящего элемента применяют различные полупроводниковые материалы. По конструкции резисторы подразделяются на углеродистые, металлоплёночные, металлоокисные, металлодиэлектрические, композиционные и полупроводниковые. По способу защиты резистивного элемента различают резисторы изолированные, изолированные лакированные, компаундированные, опресованные пластмассой, герметизированные и вакуумированные.

В зависимости от назначения резисторы подразделяются на резисторы общего применения и специального применения. К резисторам общего применения не предъявляются повышенные требования в отношении точности их изготовления и стабильности параметров. К резисторам специального применения можно отнести резисторы повышенной стабильности, высокочастотные, высокоомные, а также резисторы для микромодулей и микросхем.

1.1.2 Основные параметры резисторов

Номинальное сопротивление резистора – значение сопротивления, которое должен иметь резистор в соответствии с нормативной документацией (ГОСТ, ТУ). Фактическое сопротивление каждого экземпляра резистора может отличаться от номинального не более, чем на допустимое отклонение. Номинальные сопротивления резисторов постоянного сопротивления устанавливаются ГОСТ 2825 – 67. Для резисторов с меньшими допустимыми отклонениями установлены ряды номинальных значений Е48 и Е96. Конкретные значения сопротивлений получают умножением соответствующих чисел рядов на 10^n , где n – целое положительное или отрицательное число. Номинальные значения сопротивлений резисторов с допустимыми отклонениями более $\pm 20\%$ выбираются из ряда Е6.

Номинальная мощность резистора – максимально допустимая мощность, рассеиваемая на резисторе, при которой параметры резистора сохраняются в установленных пределах в течение длительного времени, называемого *сроком службы*. Напряжение на резисторе не должно превышать $U_{\text{ном}}$, соответствующего номинальной мощности $P_{\text{ном}}$:

$$U_{\text{ном}} = \sqrt{P_{\text{ном}} R}. \quad (1)$$

Температурный коэффициент сопротивления (TKR) – относительное изменение сопротивления резистора при изменении температуры окружающей среды на один градус. TKR может изменяться в интервале температур. У некоторых резисторов изменяется и знак TKR.

$$TKR = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT}. \quad (2)$$

Если зависимость сопротивления от температуры носит линейный характер, то величину TKR можно вычислить по формуле

$$TKR = \frac{R_2 - R_1}{R_1 (T_2 - T_1)}, \quad (3)$$

где R_1, R_2 – сопротивление при температурах T_1 и T_2 соответственно.

Электрическая прочность резистора характеризуется предельным напряжением, при котором резистор может работать в течение срока службы без электрического пробоя. Предельное рабочее напряжение резистора зависит от атмосферного давления, температуры и влажности воздуха.

Уровень собственных шумов резистора определяется случайными колебаниями разности потенциалов, возникающими в результате флуктуаций объёмной концентрации носителей заряда и флуктуаций его электрического сопротивления. ЭДС шумов в полосе частот Δf определяется так:

$$E_{\text{ш}} = 0,125\sqrt{\Delta f R} \quad (4)$$

1.1.3 Резисторы постоянного сопротивления

Углеродистые резисторы (С1). Резистивный элемент этих резисторов представляет собой тонкую плёнку углерода, осаждённую на основание из керамики. В качестве основания обычно используются стержни или трубы. Углеродистые резисторы характеризуются высокой стабильностью сопротивления, низким уровнем собственных шумов, отрицательным ТКС, слабой зависимостью сопротивления от частоты и приложенного напряжения. Бороуглеродистые резисторы типа БЛП по стабильности сопротивления могут не уступать проволочным резисторам. ТКС этих резисторов лежит в диапазоне 0,012...0,025 %/°C.

Композиционные резисторы. Резистивный элемент этих резисторов изготавливают на основе композиций, состоящих из смеси порошкообразного проводника и органического или неорганического диэлектрика. Композиционные резисторы выпускают плёночного (С3) и объёмного (С4) видов. Плёночные композиционные резисторы по конструкции подобны углеродистым, но отличаются большей толщиной плёнки. Объёмные резистивные элементы изготавливают в виде стержня путём прессования композиционной смеси, плёночные – путём нанесения композиционной смеси на изоляционное основание. Плёночные композиционные резисторы характеризуются сильной зависимостью сопротивления от напряжения, низкой стабильностью параметров и очень высокой надёжностью. Объёмные композиционные резисторы с органическими связующими материалами отличаются высокой стабильностью параметров, сравнительно низкой надёжностью, низкой стабильностью сопротивления и слабой зависимостью сопротивления от частоты до 50 кГц. Сопротивление этих резисторов практически не зависит от напряжения.

Металлоплёночные резисторы (С2) содержат резистивный элемент в виде очень тонкой (десяти доли микрометра) металлической плёнки, осаждённой на основание из керамики, стекла, слоистого пластика, ситалла или другого изоляционного материала. Металлоплёночные резисторы характеризуются высокой стабильностью параметров, слабой зависимостью сопротивления от частоты и напряжения и высокой надёжностью. Недостатком некоторых металлоплёночных резисторов является пониженная надёжность при повышенной номинальной мощности, особенно при импульсной нагрузке. ТКС резисторов типов МТ и ОМЛТ не превышает 0,02 %/°C. Уровень шумов резисторов группы А не более 1 мкВ/В, группы Б – не более 5 мкВ/В.

Металлоокисные резисторы изготавляются на основе окислов металлов, чаще всего двуокиси олова. По конструкции они не отличаются от металлоплёночных, характеризуются средней стабильностью параметров, слабой зависимостью сопротивления от частоты и напряжения, высокой надёжностью.

Проволочные резисторы (С5) постоянного сопротивления обычно выполняют на цилиндрическом изоляционном основании с одно- или многослойной обмоткой. Провод и контактные узлы защищают, как правило, эмалевыми покрытиями. Проволочные резисторы характеризуются высокой стабильностью сопротивления, низким уровнем собственных шумов, большой допустимой мощностью рассеяния, высокой точностью сопротивления. Эти резисторы обладают сравнительно большими паразитными реактивными параметрами и поэтому применяются на сравнительно низких частотах. В качестве обмоточ-

ных проводов используются провода высокого сопротивления. Для уменьшения паразитных параметров проволочных резисторов применяют обмотки специальных видов.

Сверхвысокочастотные резисторы (С6) предназначены для работы на частотах выше 1 ГГц. Конструкции СВЧ резисторов разнообразны, так как они часто являются основой волноводов, аттенюаторов и т.п. Эти резисторы имеют минимальные паразитные емкость и индуктивность, потери на вихревые токи и диэлектрические потери.

1.2 Некоторые сведения из теории вероятности

1.2.1 Числовые характеристики случайных величин

Математическим ожиданием дискретной случайной величины называют сумму произведений всех её возможных значений на их вероятности.

Пусть случайная величина X может принимать только значения x_1, x_2, \dots, x_n , вероятности которых соответственно равны p_1, p_2, \dots, p_n . Тогда математическое ожидание $M(X)$ случайной величины определяется равенством

$$M(X) = x_1 p_1 + x_2 p_2 + \dots + x_n p_n \quad (5)$$

Если дискретная случайная величина X принимает счётное множество возможных значений, то

$$M(X) = \sum_{i=1}^n x_i p_i, \quad (6)$$

причём математическое ожидание существует, если ряд в правой части равенства сходится абсолютно.

На практике часто требуется оценить рассеяние возможных значений случайной величины вокруг её среднего значения (математического ожидания).

Дисперсией дискретной случайной величины называют математическое ожидание квадрата отклонения случайной величины от её математического ожидания:

$$D(X) = M[X - M(X)]^2 \quad (7)$$

Дисперсия характеризует разброс значений случайной величины X относительно её математического ожидания. Из определения дисперсии следует формула для её вычисления:

$$D(X) = \sum_{i=1}^n (x_i - M(X))^2 p_i \quad (8)$$

Иногда удобно применить формулу:

$$D(X) = M(X^2) - [M(X)]^2 \quad (9)$$

т.е. дисперсия равна разности между математическим ожиданием квадрата случайной величины X и квадратом её математического ожидания.

Для оценки рассеяния возможных значений случайной величины вокруг её среднего значения кроме дисперсии может использоваться и среднее квадратическое отклонение.

Средним квадратическим отклонением случайной величины X называют квадратный корень из дисперсии:

$$\sigma(X) = \sqrt{D(X)} \quad (10)$$

1.2.2 Нормальный закон распределения

Нормальным называют распределение вероятностей случайной величины, которое описывается плотностью

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{-(x-a)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (11)$$

где a – математическое ожидание, σ – среднее квадратическое отклонение.

График плотности нормального распределения называют нормальной кривой (кривой Гаусса). На рисунке 1.1 изображена нормальная кривая при $a = 1$ и $\sigma = 2$:

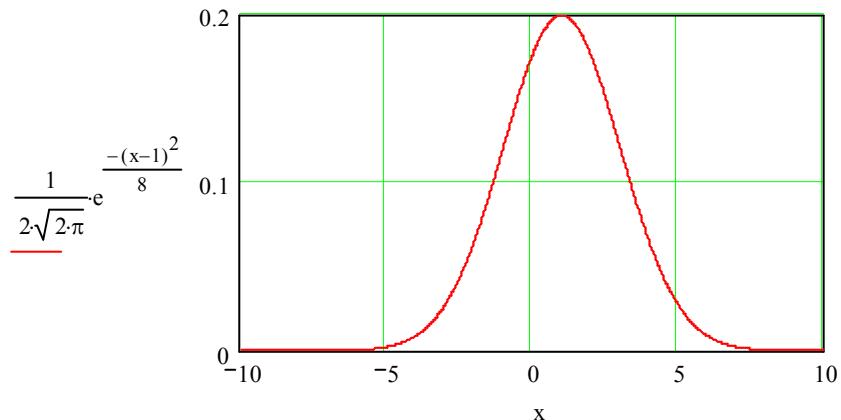


Рисунок 1.1 – плотность распределения нормального закона

1.2.3 Статистическое распределение выборки

Статистическое распределение выборки является оценкой неизвестного распределения. При довольно больших значениях n статистическое распределение мало отличается от истинного распределения. Для идентификации закона распределения составляют интервальный статистический ряд, состоящий из частичных промежутков $[x_0, x_1), [x_1, x_2), \dots, [x_{k-1}, x_k)$, которые берут обычно одинаковыми по длине h . Для определения величины интервала h используют формулу Стерджеса:

$$h = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{1 + \log_2 n}, \quad (12)$$

где $x_{\max} - x_{\min}$ - разность между наибольшим и наименьшим значениями признака, а

$$m = 1 + \log_2 n \quad (13)$$

- число интервалов ($\log_2 n \approx 3.322 \lg n$).

Графическим изображением статистического распределения является гистограмма частот. Гистограммой частот называют ступенчатую фигуру, состоящую из прямоугольников, основаниями которых служат частичные интервалы длины h , а высоты равны отношению n_i / h - плотности частоты. Площадь гистограммы частот равна объему выборки.

2 ОПИСАНИЕ РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

2.1 Структура автоматизированного лабораторного стенда

Внешний вид автоматизированного лабораторного стенда представлен на обложке. Стенд предназначен для исследований разброса значений номинального сопротивления и температурного коэффициента сопротивления постоянных резисторов. Аппаратная часть стенда состоит из персонального компьютера (ПК) и измерительного блока (ИБ), в термо-

камеру которого устанавливаются сменные кассеты с исследуемыми образцами резисторов. Управление измерительным блоком и обработка измерительной информации производится персональным компьютером, подключаемым к измерительному блоку с помощью интерфейсного модуля через порт USB (рисунок 2.1).

Структурная схема автоматизированного лабораторного стенда представлена на рисунке 2.1.

На структурной схеме показаны следующие элементы:

Термостат – предназначен для нагрева образцов,

Образцы – набор исследуемых резисторов,

Датчик температуры – датчик на основе кремниевого диода,

Узел управления нагревателем и нагревательный элемент позволяют устанавливать заданную температуру в термостате,

Коммутатор образцов позволяет подключить необходимый образец в измерительную цепь,

Преобразователь $U \rightarrow t$ – осуществляет преобразование падения напряжения на образце в интервал времени методом двойного интегрирования,

Интерфейсный модуль – микропроцессорное устройство, которое осуществляет управление элементами измерительного блока и процессом измерения, обеспечивает измерение длительности интервала времени интегрирования, и производит обмен информацией с персональным компьютером,

Источник питания – стабилизированный ИП, работающий от сети переменного тока 220 В.

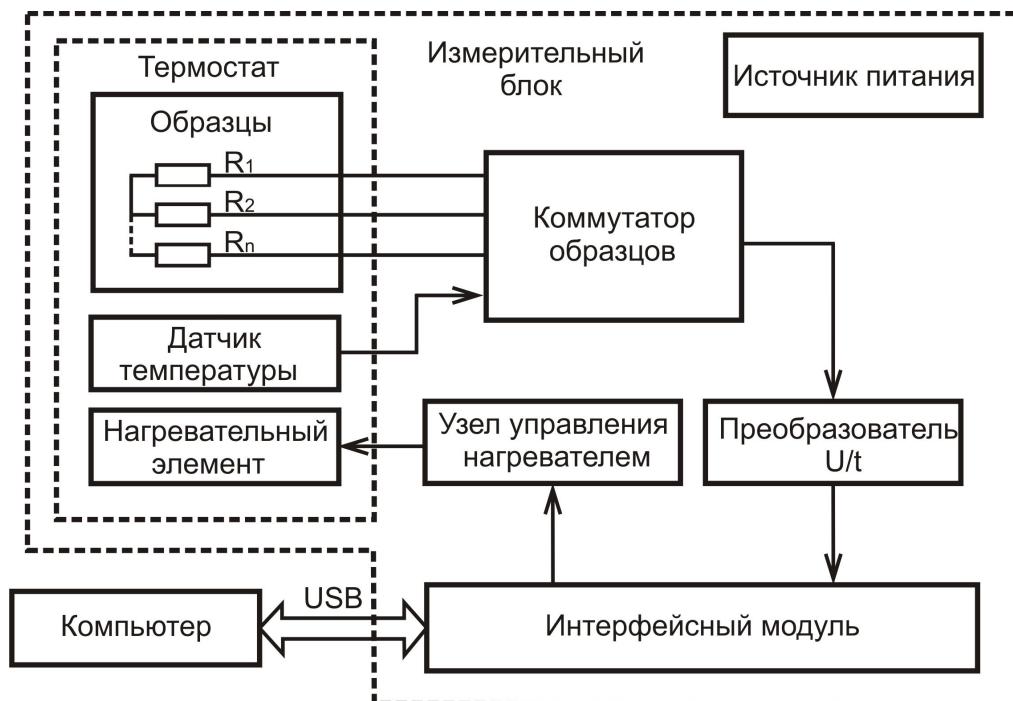
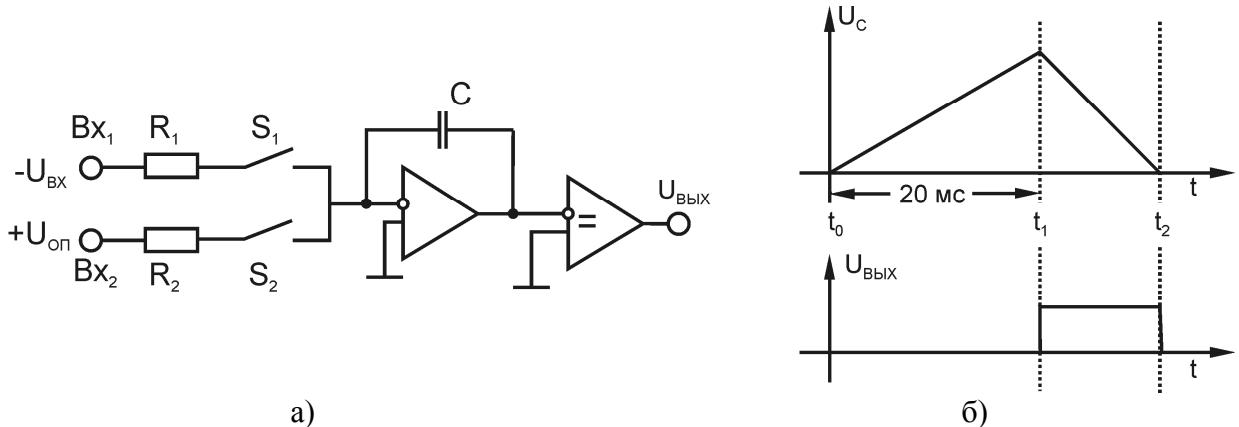


Рисунок 2.1 – Структурная схема стенда

Метод, положенный в основу измерения сопротивления, иллюстрирует рисунок 2.2. В начальный момент времени t_0 (рисунок 2.2б) через резистор R_1 и замкнутый ключ S_1 на вход B_{X1} преобразователя (рисунок 2.2а) поступает сигнал $-U_{Bx}$, который заряжает образцовый конденсатор C . В момент времени $t_1=20$ мс ключ S_1 размыкается, ключ S_2 замыкается.

кается. При этом через резистор R_2 задается ток, что вызывает разрядку конденсатора. В этот же момент на выходе начинает формироваться импульс. В момент времени t_3 конденсатор полностью разряжается, срабатывает компаратор, и на выходе преобразователя устанавливается логический ноль.



- а) – функциональная схема преобразователя $U \rightarrow t$;
б) – временные диаграммы работы преобразователя $U \rightarrow t$.

Рисунок 2.2 – Метод двойного интегрирования

Таким образом, длительность импульса прямо пропорциональна входному напряжению:

$$dt = K \cdot U_{\text{вых}}$$

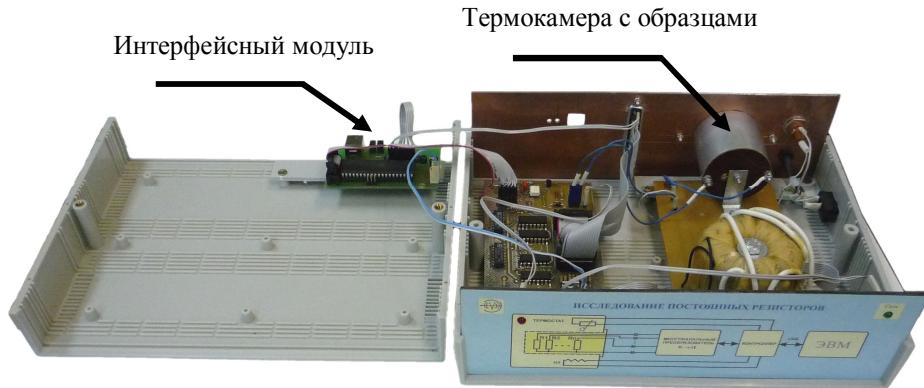
В свою очередь, падение напряжения на измеряемом резисторе пропорционально его сопротивлению. Особенностью этого метода является то, что при времени заряда конденсатора $t=20$ мс, значительно снижаются помехи сети питания, так как за это время воздействует помеха длительностью в один период, а интеграл от периодического сигнала за период равен нулю. Более того, интегрирование обеспечивает усреднение импульсных помех.

С целью повышения точности измерений осуществляется калибровка по двум высокостабильным резисторам, размещенным вне термостата, что обеспечивает снижение систематической погрешности. Для снижения случайной погрешности производятся многочленные измерения сопротивления образцов и температуры с усреднением результатов.

В каждом цикле происходит поочередное измерение температуры, сопротивления всех образцов и калибровочных резисторов.

2.2 Измерительный блок

На фото представлен измерительный блок со снятой крышкой. В блоке установлены термокамера с исследуемыми образцами, плата источника питания, плата с электронными узлами измерительных преобразователей и микропроцессорная плата интерфейсного модуля.



Измерительный блок со снятой крышкой



Задняя панель измерительного блока



Сменные кассеты с образцами

3 ОПИСАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

3.1 Основное окно программы

Программный интерфейс пользователя организован как работа за классическим измерительным стендом, оснащенным различными источниками воздействия и регистрирующими измерительными приборами. Можно сказать, что эти устройства реально реализованы в лабораторном стенде, но не имеют отдельных корпусов и индицирующих устройств. Последние представлены только на экране монитора компьютера.

Основное окно программы показано на рисунке 3.1.

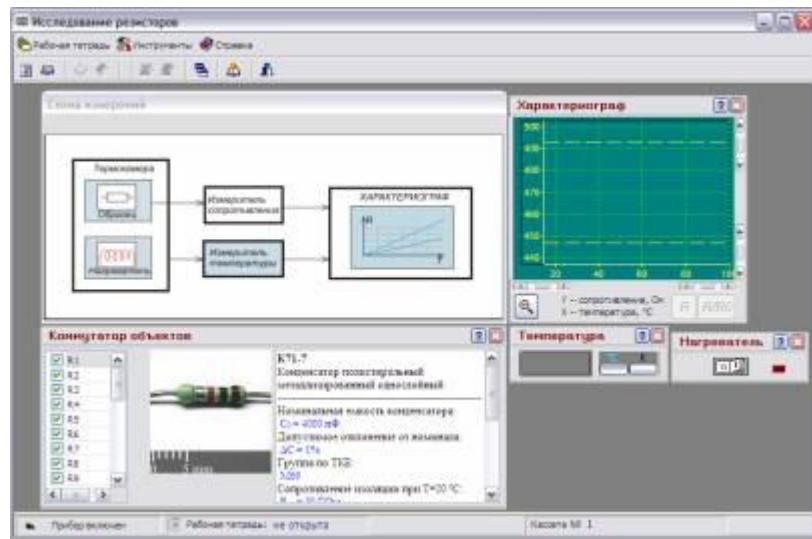


Рисунок 3.1 Основное окно приложения

Программный интерфейс пользователя построен по принципу многооконного приложения. Центральное место занимает окно с обобщенной схемой измерений, которая реализована в лабораторном стенде.

На схеме присутствует набор управляющих и регистрирующих инструментов. Внешний вид приборных панелей, естественно, отличается от реально существующих приборов. Более того, на них есть специальные кнопки, которых в принципе не бывает на реальных устройствах: например, кнопка «Справка», позволяющая получить справочную информацию о данном приборе.

Непременным атрибутом при работе за классическим измерительным стендом является *Рабочая тетрадь*, в которую экспериментатор заносит показания приборов. В программе эта возможность также реализована. Рабочая тетрадь открывается в отдельном окне с помощью команд меню или кнопок панели управления.

Команды меню основного окна

Команды меню разбиты на четыре группы.

1. *Рабочая тетрадь*.
 - 1.1. *Новая*. Создать новую запись о «Рабочей тетради» в базе данных.
 - 1.2. *Открыть*. Открыть существующую в базе данных «Рабочую тетрадь».
 - 1.3. *Удалить*. Удалить запись о «Рабочей тетради» в базе данных. Эта команда доступна только тогда, пока не открыта ни одна «Рабочая тетрадь», т.е. только сразу же после запуска приложения.
 - 1.4. *Открыть отчет*. Открыть существующий или создать новый отчет. Команда доступна только при открытой «Рабочей тетради».
 - 1.5. *Закрыть отчет*. Команда доступна только при открытом отчете.
 - 1.6. *Выход*. Выход из приложения.
2. *Инструменты*.

- 2.1. *Параметры копирования*. Вызывает диалог представления графиков при копировании (в виде раstra или в виде метафайла). Выбор представления зависит от возможностей Вашего принтера и определяется экспериментально.
- 2.2. *Упорядочить*. Возвращает окна всех инструментов в их положение по умолчанию.
- 2.3. *Открыть Excel*. Открывает приложение *MS Excel* с открытым рабочим файлом, одноименным с рабочей тетрадью.
- 2.4. *Закрыть Excel*. Запоминает изменения в рабочем файле и закрывает приложение *MS Excel*.
3. *Справка*.
 - 3.1. *Содержание*. Запускает файл справки.
 - 3.2. *О программе*. Выводит справочное окно «О программе».

Все кнопки на панели управления имеют всплывающие подсказки. Все команды, связанные с кнопками панели, дублируются в меню, но не все команды меню дублируются кнопками панели управления.

Кнопки панели управления и их соответствие командам меню

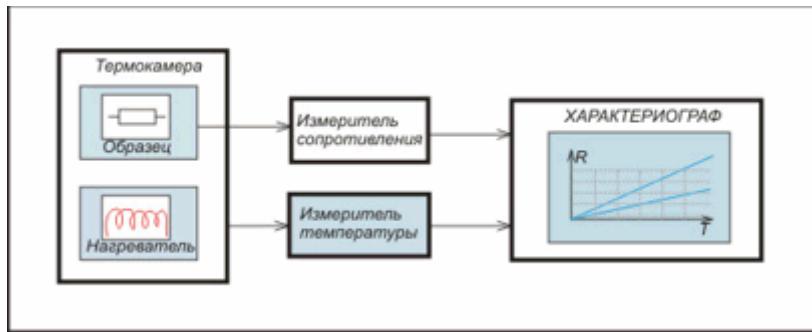


- «Рабочая тетрадь | Новая».
- «Рабочая тетрадь | Открыть».
- «Рабочая тетрадь | Открыть отчет».
- «Рабочая тетрадь | Закрыть отчет».
- «Инструменты | Упорядочить».
- «Инструменты | Открыть Excel».
- «Инструменты | Закрыть Excel».
- «Справка | Содержание».
- «Рабочая тетрадь | Выход».

3.2 Окно схемы измерений

Схема измерений в обобщенном виде отображает информационные процессы в автоматизированном стенде при измерении параметров объекта исследования и отображении и результатов измерения.

При наведении курсора на элемент схемы, он меняет свое очертание со стандартной "стрелки" на "указывающую руку". Если теперь нажать на левую кнопку "мыши", соответствующий инструмент становится видимым.



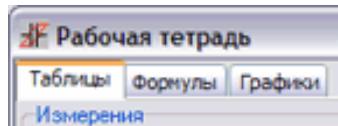
На схеме присутствуют следующие элементы:

- *Образец* (коммутатор объектов). Предназначен для отражения информации об объекте исследования и включения (отключения) образцов в измерительную цепь.
- *Нагреватель*. Предназначен для включения (выключения) нагрева.
- *Характериограф*. Предназначен для отображения зависимости емкости включенных образцов от температуры.
- *Измеритель температуры*. Предназначен для измерения температуры на образце.

Примечание. Даже если регистрирующий инструмент невидим, измерения все равно производятся и могут быть записаны в рабочую тетрадь при нажатии соответствующей кнопки в области управления рабочей тетрадью.

3.3 Рабочая тетрадь

Рабочая тетрадь предназначена для ведения текущих записей результатов измерений, расчетов, построенных на полученных результатах, и построения графиков. Все данные рабочей тетради хранятся в базе данных. База данных – это файл с расширением *.mdb. Каждой рабочей тетради соответствует свой файл с уникальным названием.



Рабочая тетрадь состоит из трех связанных частей:

Таблицы – в ней сосредоточены значения измеряемых величин и результаты расчетов, полученных из измеренных данных;

Формулы – здесь располагаются формулы, необходимые для расчетов; их можно добавлять, удалять и редактировать;

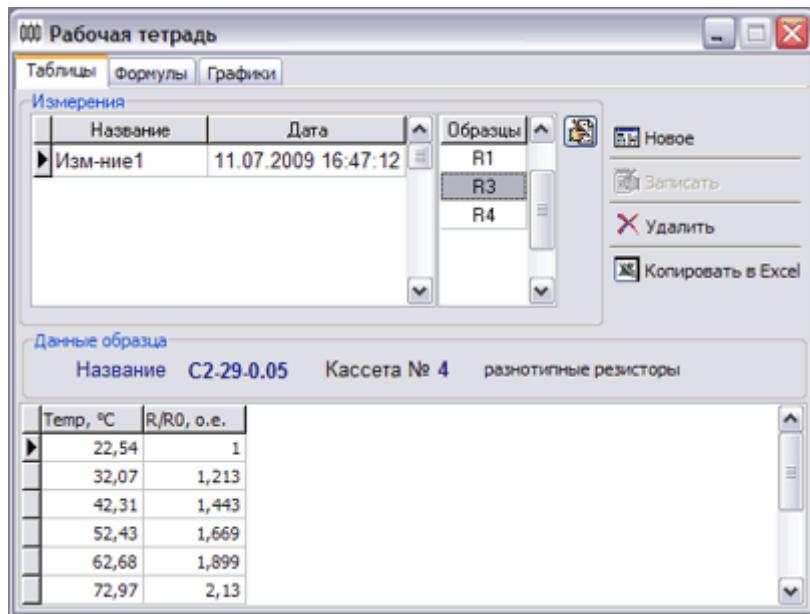
Графики – здесь сосредоточены графики, построенные как по измеренным данным, так и по результатам расчетов; их также можно добавлять, удалять и редактировать.

Переключаться между частями рабочей тетради можно при помощи ярлычков, расположенных в верхней части окна.

Таблицы

В этой части рабочей тетради в первую очередь представлены значения измеряемых величин и расчетных величин, полученных на основе измеряемых. Эти значения оформлены в виде таблицы, расположенной в нижней части окна. Изменить эти данные нельзя, их можно только просматривать. Одна таблица соответствует одному измерению. Под из-

мерением понимается один эксперимент, в котором получены одна или несколько строк с данными, позволяющими рассчитать нужные Вам величины или построить нужные Вам зависимости.

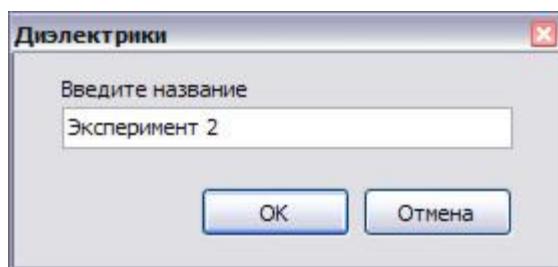


Выше таблицы с результатами располагается информационная область, в которой представлены:

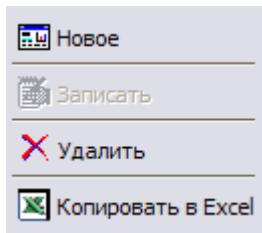
- название объекта исследований; материал, из которого он изготовлен;
- параметры объекта исследований.

В левой верхней части окна рабочей тетради имеется таблица с названием измерения и датой его проведения, а также таблица с названиями образцов, которые включены в данное измерение. С помощью «мыши» или стрелок клавиатуры можно перемещаться по уже имеющимся результатам. При этом в таблице результатов показываются измеренные и рассчитанные данные выбранного измерения и выбранного образца (одного).

Кнопка позволяет редактировать название измерения. При нажатии на нее появляется окно для ввода названия.



В правой верхней части окна рабочей тетради находится панель управления измерениями.



Кнопки панели управления реализуют следующие команды:

Новое – открывает новое измерение. В таблице появляется новая запись с названием по-умолчанию и датой проведения измерения и включается режим редактирования названия – появляется окно ввода с названием. Эта кнопка становится доступной после того, как будет измерено не менее десяти точек температурной зависимости. После нажатия этой кнопки, она становится недоступной, а кнопка "Записать" – доступной.

Примечание. Выбор образцов, видимых на *характериографе*, нужно осуществлять до нажатия кнопки "Новое", иначе *коммутатор объектов* будет недоступен, пока Вы не осуществите запись данных.

Записать – записывает несколько строк данных в таблицу рабочей тетради. При этом записываются данные только для тех образцов, которые были выбраны в *коммутаторе объектов*. После записи кнопка становится недоступной, а кнопка "Новое" – доступной. Можно выбирать новые образцы в *коммутаторе объектов*.

Удалить – удаляет все измерение вместе со связанными с ним формулами.

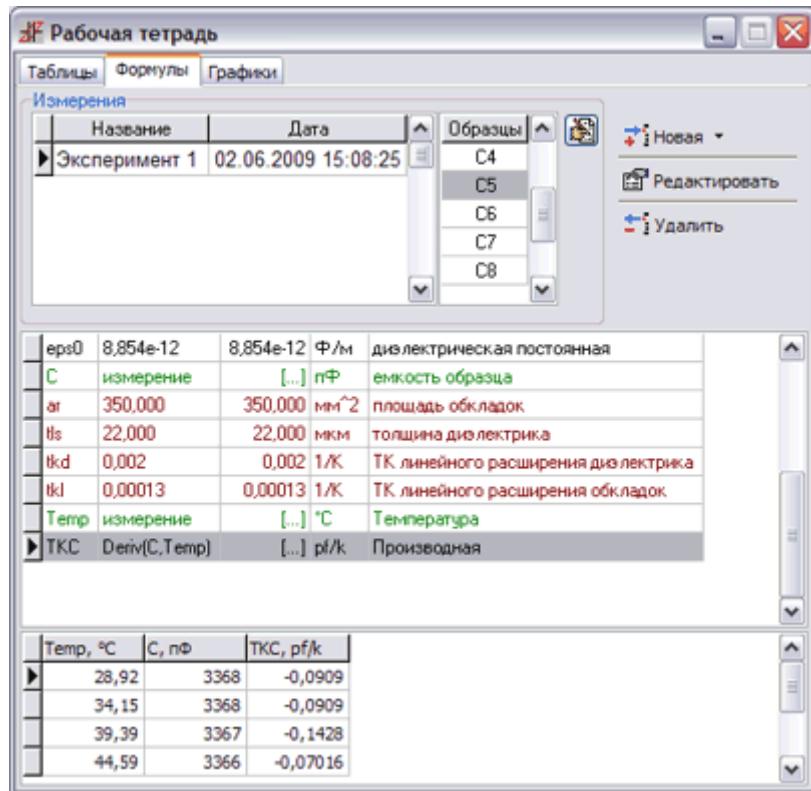
Копировать в Excel – копирует экспериментальные результаты в приложение *MS Excel*.

Формулы

В этой части рабочей тетради в первую очередь представлены выражения, с помощью которых производятся расчеты. Выражения строятся на основе измеренных данных и уже существующих выражений. Хотя в таблице данных представлен только один из измеренных образцов, введенные формулы применяются для *всех* образцов данного измерения (под *измерением* понимается один эксперимент, в котором получены одна или несколько строк с данными). Список всех формул, доступных в данном измерении, располагается в центральной части окна рабочей тетради.

В первой колонке списка отображаются *идентификаторы*, которые могут быть использованы при построении новых выражений. Во второй колонке представлены собственно выражения, в третьей – результат расчета, в четвертой – размерность и в пятой – комментарии, позволяющие пояснить назначение данного выражения. В случае, если идентификатор представляет собой экспериментальное значение, вместо выражения во второй колонке стоит слово «измерение». Выражения могут быть *скалярными* и *векторными*. В первом случае в выражении не содержится ни одного векторного идентификатора, оно имеет одно значение, которое и представлено в колонке результата. Если выражение векторное, это значит, что оно имеет несколько значений, которые отображаются в таблице, расположенной внизу окна рабочей тетради. В этом случае в колонке результата (третьей) ставится знак [...]. Все экспериментальные результаты – векторные. Если в формуле присутствует хоть один векторный идентификатор, то все выражение становится векторным.

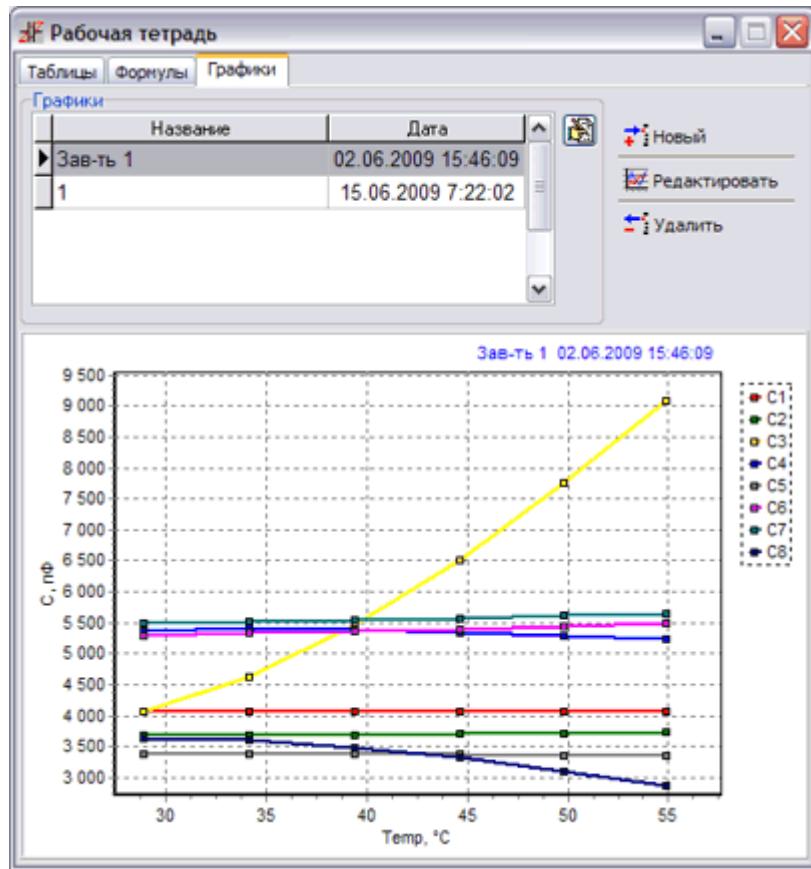
Зеленым цветом выделены измеренные значения, коричневым – параметры образцов. Эти выражения изменить нельзя.



Если в формуле содержится ошибка, то строка в списке выделяется красным цветом. В формулах могут присутствовать только идентификаторы, расположенные выше по списку.

Графики

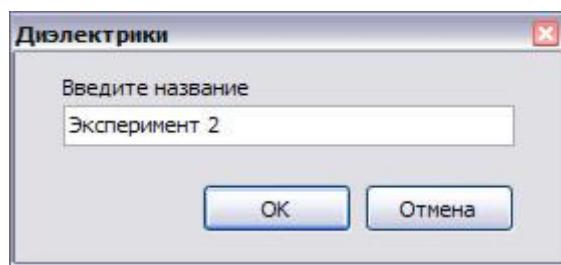
В этой части рабочей тетради представлены графики, построенные как по измеренным данным, так и по результатам расчетов.



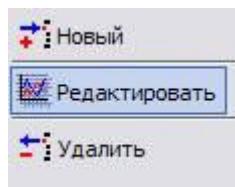
Каждый график может быть либо одной кривой, либо семейством кривых, зависящих от параметра.

В верхней части окна расположена область управления, позволяющая просматривать, добавлять, удалять и редактировать графики. В левой части области имеется таблица с названием графика. Именно это название будет отображаться в качестве заголовка. С помощью «мыши» или стрелок клавиатуры можно перемещаться по уже имеющимся графикам. При этом они отображаются в области построения.

Кнопка позволяет редактировать название графика. При нажатии на нее появляется окно для ввода названия.



В правой верхней части окна рабочей тетради находится панель управления графиками.



Эти кнопки реализуют следующие команды:

Новый – открывает новый график. В таблице появляется новая запись с названием по-умолчанию и включается режим редактирования названия – появляется окно ввода с названием.

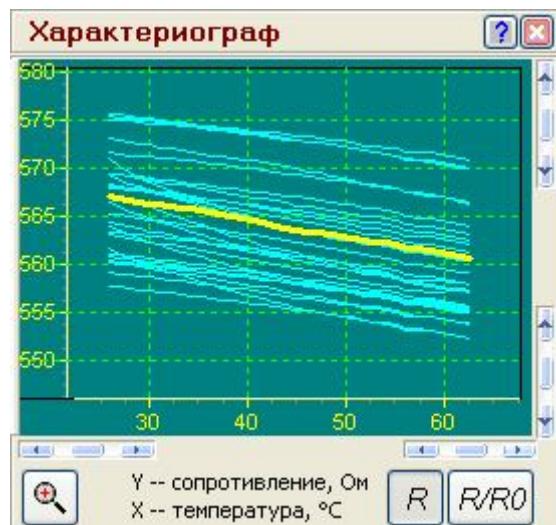
Редактировать – позволяет редактировать график.

Удалить – удаляет график, отмеченный в таблице.

3.4 Инструменты

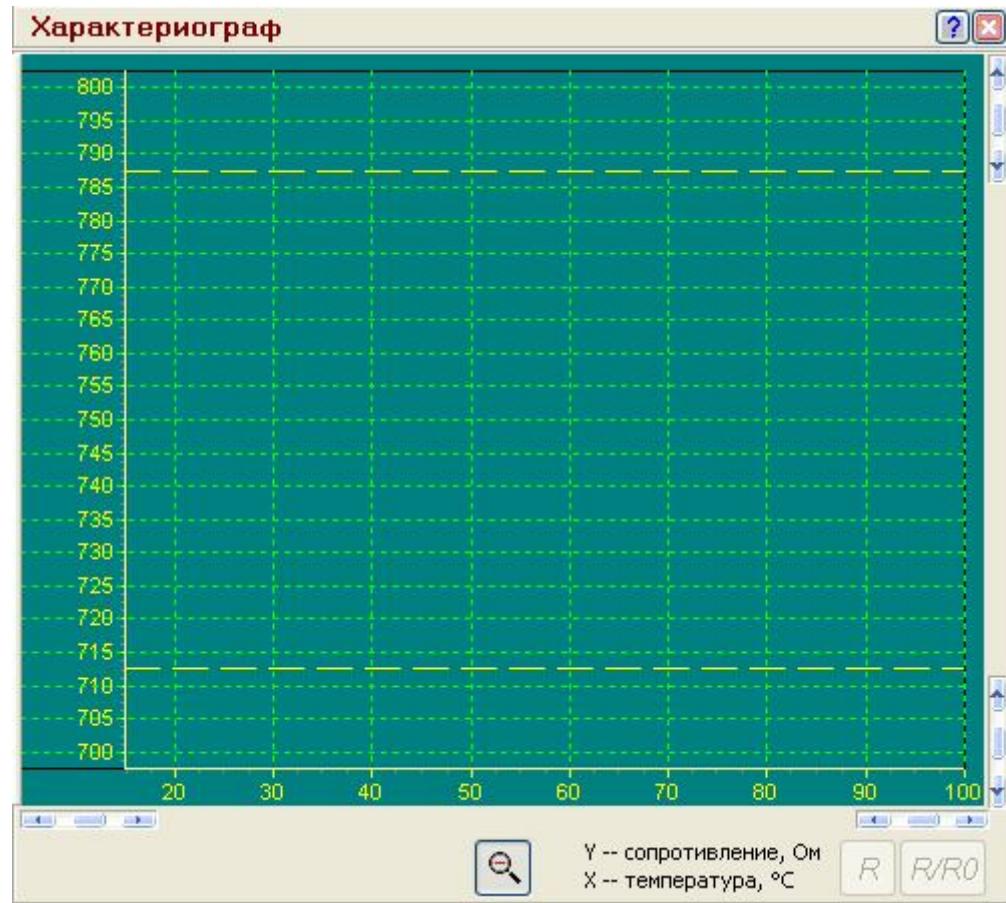
3.4.1 Характериограф

Характериограф предназначен для отображения результатов измерения зависимостей сопротивлений образцов от температуры. Включить (выключить) кривую для конкретного образца можно с помощью *коммутатора объектов*.



В углах области построения характеристик расположены элементы управления масштабом вывода на экран . Они позволяют легко изменять масштаб по осям области отображения характеристик.

Если размер экрана характериографа слишком мал, а Вам требуется рассмотреть характеристику более внимательно, можно воспользоваться кнопкой увеличения рабочей панели характериографа .



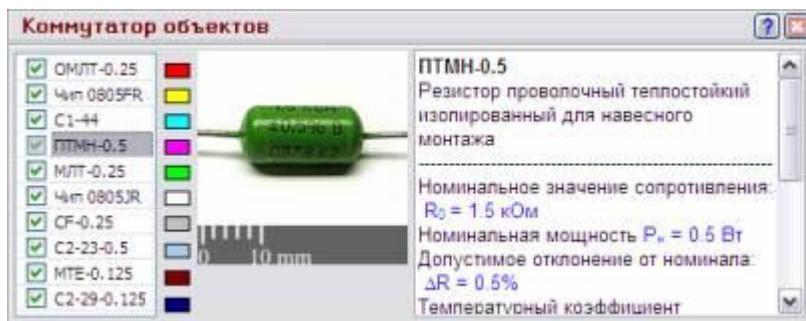
Нажав кнопку можно вернуться к первоначальному представлению окна.

В правом нижнем углу окна находятся две кнопки: и . Эти кнопки предназначены для изменения представления данных: по оси Y откладываются либо абсолютные значения сопротивления, либо относительные. Здесь R_0 – значение сопротивления при минимальной измеренной температуре.

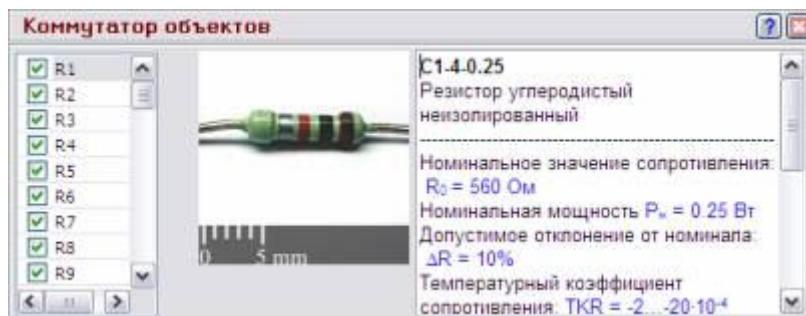
Обратите внимание, что при записи данных записываться будут сразу несколько строк значений, причем для тех кривых, которые присутствуют на экране.

3.4.2 Коммутатор объектов

Предназначен для отображения информации об объекте исследования. Позволяет выбрать образцы, данные которых, будут отображаться на экране *характериографа*. Около выбранных образцов появляется прямоугольник, цвет которого соответствует цвету кривой на экране.



Такой вид коммутатора соответствует кассете с разнотипными резисторами (№ 4). Для других кассет вид коммутатора несколько меняется.



Примечание. Выбор образцов, видимых на характеристографе, нужно осуществлять до нажатия кнопки "Новое" измерение (см. рабочая тетрадь), иначе коммутатор объектов будет недоступен, пока Вы не осуществите запись данных.

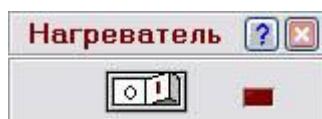
3.4.3 Измеритель температуры

Предназначен для измерения температуры. Может работать с двумя различными размерностями: градусы Цельсия и Кельвина.



3.4.4 Нагреватель

Предназначен для включения (выключения) нагрева.



Чтобы включить (или выключить) нагреватель, следует щелкнуть на выключателе левой кнопкой "мыши". Светодиод индицирует состояние включения (выключения) нагрева. При включении нагрева на характеристографе стираются предыдущие кривые и появляются новые измеренные данные.

Примечание. Если температура достигает предельной для измерительного блока, нагрев автоматически выключается независимо от положения выключателя.

3.5 Обработка результатов измерений

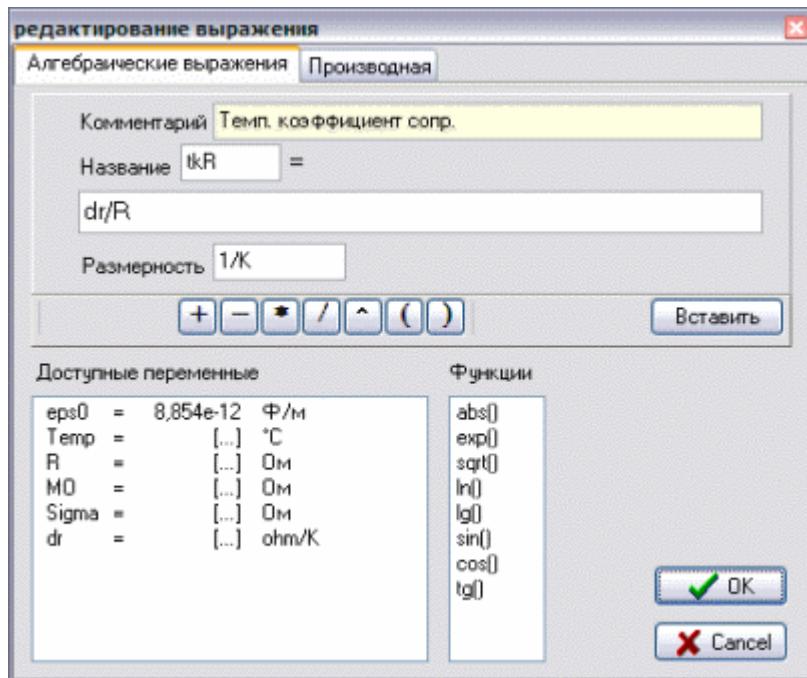
Обработка результатов измерений возможна как после окончания записей измерения, так и в любое другое время.

Программа стенда предоставляет возможность:

1. провести вычисления и получить новые данные из измеренных величин с помощью построителя выражений;
2. копировать экспериментальные результаты в *MS Excel* и получить новые данные из измеренных величин с помощью этого приложения;
3. представить результаты в графическом виде при помощи специального инструмента редактирования графиков;
4. сформировать отчет.

3.5.1 Построение и редактирование выражений

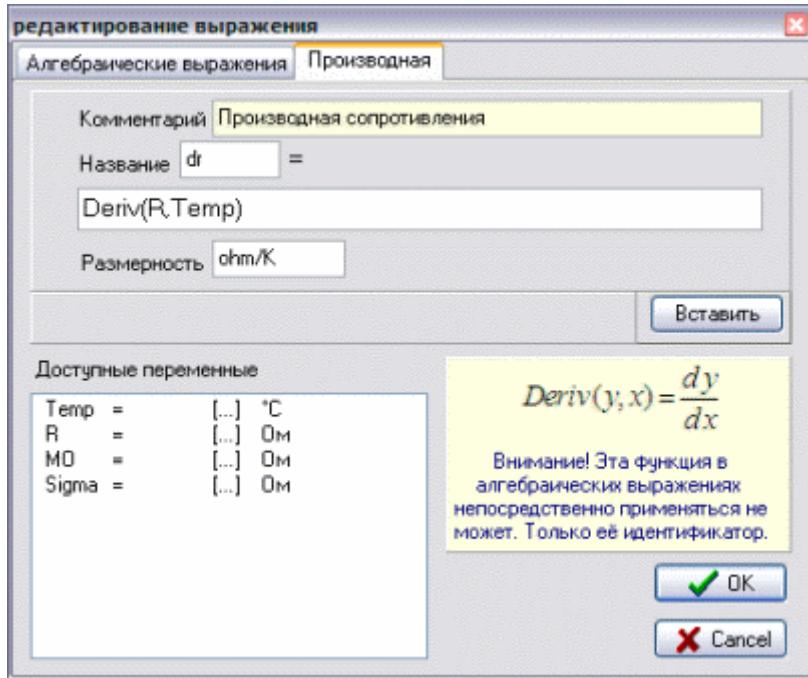
На вкладке «Таблицы» рабочей тетради следует воспользоваться кнопками управления «Новая» или «Редактировать». При этом активизируется диалоговое окно редактирования выражения. Построитель выражений предназначен для работы с выражениями, которые строятся на основе измеренных данных и уже существующих выражений. В построителе имеется две вкладки: "Алгебраические выражения" и "Производная".



Алгебраические выражения можно либо составить с помощью кнопок, либо непосредственно в строке ввода с помощью клавиатуры (если Вы уже представляете особенности синтаксиса). Размерность выражения в расчетах не участвует. Она нужна для информации экспериментатора и для обозначения осей графиков. Однако пустой быть не должна, – если величина безразмерная, следует ввести какое-нибудь обозначение этого, например «б/п».

Назначение встроенных функций в построителе выражений понятны по их названиям.

Вкладка "Производная" предоставляет возможность ввести функцию для вычисления производной одной векторной величины по другой.



Эта функция является особой по сравнению с предыдущими. Главная особенность заключается в том, что непосредственно функцию *Deriv* нельзя встраивать в алгебраические выражения, а только её идентификатор.

Например, при вычислении температурного коэффициента сопротивления, нельзя записать следующее выражение:

TKR = Deriv(R,Temp) / R,

будет ошибка. Следует сделать два выражения:

dr = Deriv(R,Temp);
TKR = dr/R.

3.5.2 Копирование результатов в MS Excel.

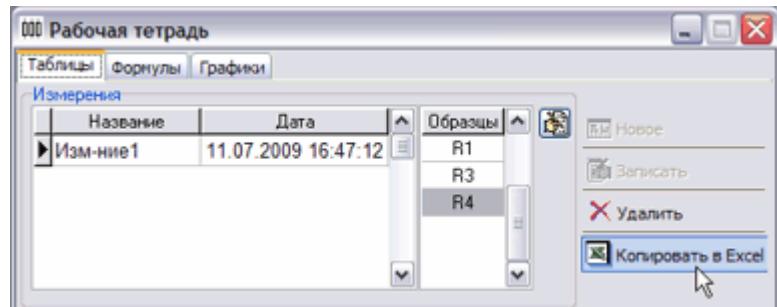
Программное обеспечение предоставляет такую возможность с целью проведения расчетов и получения новых данных из измеренных величин с помощью этого приложения. Работать с *MS Excel* возможно как после окончания записей измерения, так и в любое другое время.

Примечание. Копируются только экспериментальные результаты, без учета расчетных формул, полученных с помощью построителя выражений.

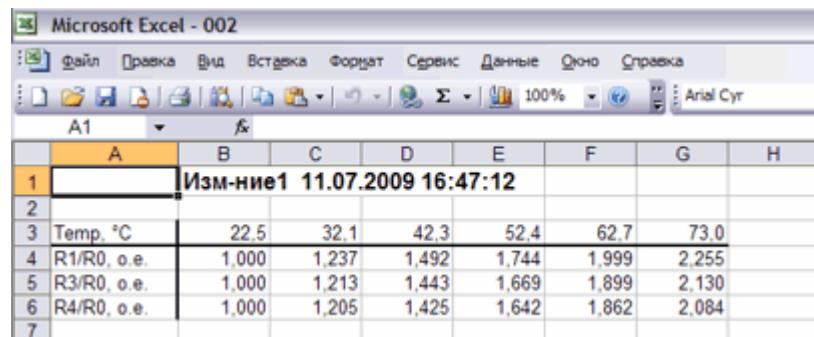
Для работы с *MS Excel* программное обеспечение лабораторной работы интегрируется с приложением *MS Excel*. Получить доступ к этой возможности можно только при открытой рабочей тетради, либо при помощи меню, либо при помощи кнопок на панели инструментов.



После выбора этой команды активируется соответствующее приложение с открытым рабочим файлом, одноименным с рабочей тетрадью, а на вкладке "Таблицы" Рабочей тетради становится доступной команда "Копировать в Excel".



После выполнения этой команды, в рабочем файле *Excel* появляются экспериментальные результаты, располагающиеся вниз и вправо от выделенной ячейки. Переключение между приложением *MS Excel* и приложением *Resist.exe* легко осуществляется при помощи панели задач *Windows*.



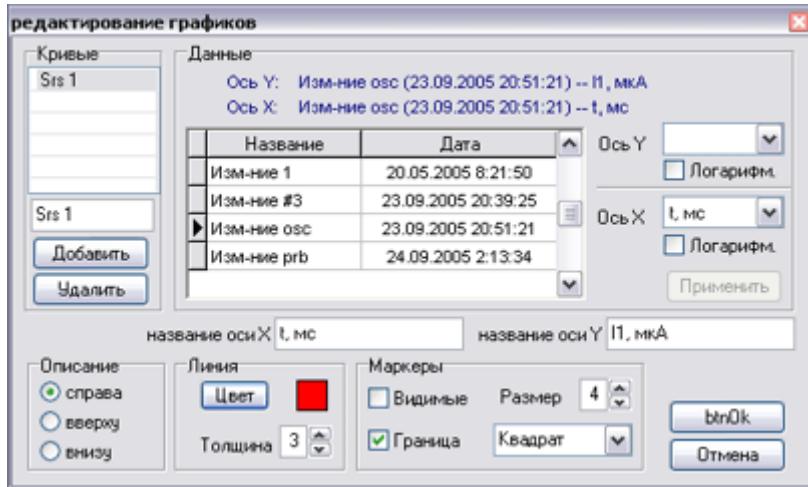
После того, как надобность в рабочем файле отпадет, его можно закрыть с помощью команды меню или кнопки на панели инструментов.



После выбора этой команды закрывается соответствующее приложение *Excel*, а кнопка “Копировать в *Excel*” становится неактивной.

3.5.3 Построение и редактирование графиков

На вкладке «Графики» рабочей тетради следует воспользоваться кнопками управления «Новый» или «Редактировать». При этом активизируется диалоговое окно редактирования графиков.



Каждый график может быть либо одной кривой, либо семейством кривых, зависящих от параметра. В левой верхней части окна имеется таблица, где перечислены кривые графика. Здесь же можно добавить, удалить кривую или изменить ее название. Правее группы «Кривые» расположена группа управляющих элементов «Данные». В этой области окна назначаются данные для осей каждой кривой. С помощью выпадающих списков можно сопоставить каждой оси любую из колонок *таблицы* рабочей тетради. Обратите внимание – данные могут быть взяты из разных измерений. Также можно устанавливать логарифмический масштаб по любой из осей. **Будьте внимательны**, при выборе логарифмического масштаба значения должны быть только положительными.

В нижней части окна располагаются элементы управления внешним видом графика. При изменении этих параметров результат сразу отражается в области построения графиков рабочей тетради.

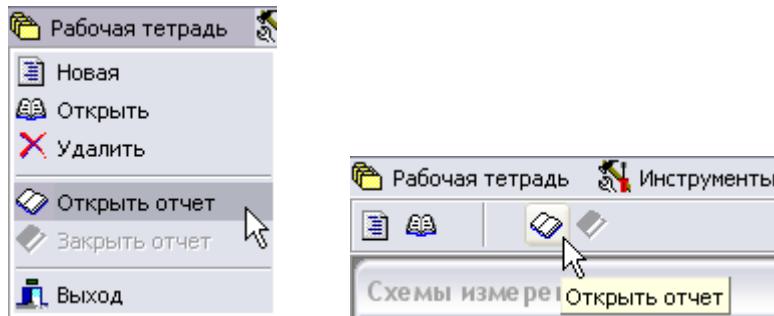
Для изменения названий осей графика следует щелкнуть «мышкой» на области ввода названия оси. При этом появляется кнопка справа от области ввода.



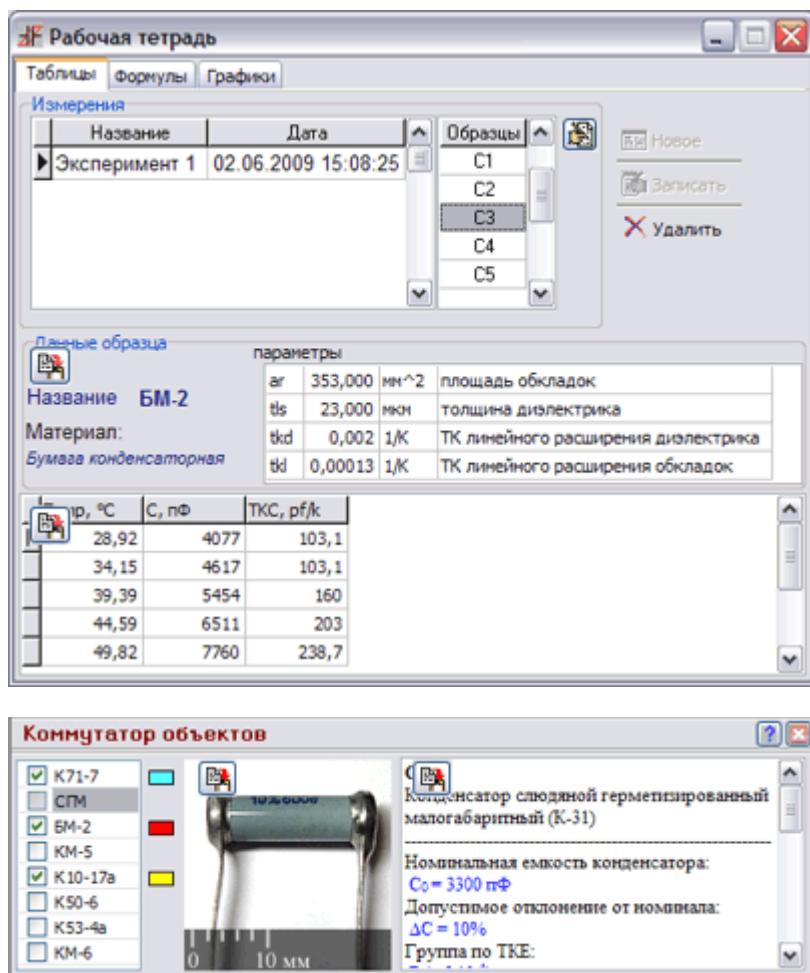
Нажав на кнопку , название оси отразится на графике, а кнопка пропадет.

3.5.4 Формирование отчета

При формировании отчета приложение интегрируется с текстовым редактором *MS WinWord*. Открыть отчет возможно только при открытой рабочей тетради, либо при помощи меню, либо при помощи кнопок на панели инструментов.



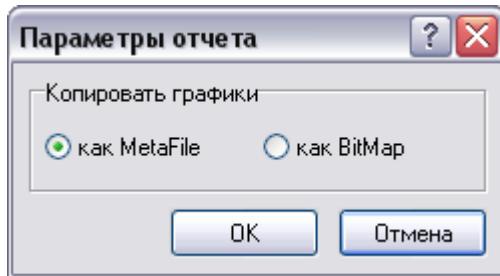
После выбора этой команды активизируется соответствующее приложение редактора с открытым файлом отчета, а на окнах приложения *Resist.exe* появляются кнопки . Эти кнопки позволяют скопировать соответствующий элемент приложения в отчет (кнопки появляются в районе левого верхнего угла копируемого элемента).



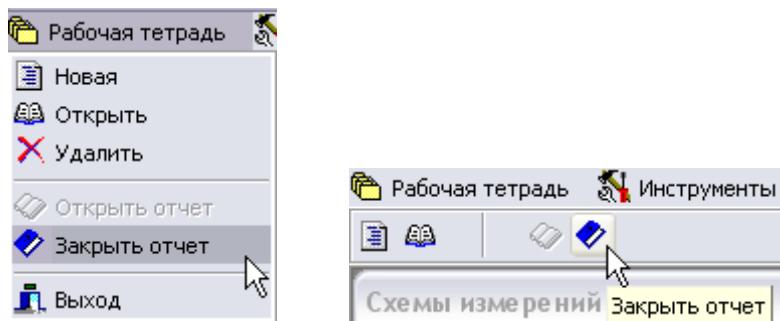
Нажатие на кнопку приводит к появлению в *отчете* соответствующего элемента. Переключение между отчетом и приложением *Resist.exe* легко осуществляется при помощи панели задач *Windows*.

При копировании графиков возможен выбор формата, в каком будут копироваться графики – в виде метафайла (*.wmf) или в виде растра (*.bmp). Эта возможность реализо-

вана из главного меню *Инструменты–Параметры копирования*. Выбор представления зависит от возможностей Вашего принтера и определяется экспериментально.



После того, как отчет сформирован, его можно распечатать. Закрыть отчет можно с помощью команды меню или кнопки на панели инструментов.



После выбора этой команды закрывается соответствующее приложение редактора и пропадают кнопки  на окнах лабораторной работы.

4 ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

4.1 Виды исследований

В автоматизированном лабораторном стенде реализовано два подхода к выполнению лабораторной работы. В первом случае основной целью работы является исследование свойств набора однотипных резисторов, а во втором – разнотипных. Выбор вида исследований осуществляется с помощью установки в термостат соответствующей кассеты с образцами. В зависимости от установленной до начала исследований кассеты, отображается различная справочная информация в окне коммутатора объектов.

В режиме исследования однотипных резисторов (кассеты 1 - 3) отображается внешний вид и технические характеристики *одного* типа резисторов: номинальное значение сопротивления, отклонение от номинала, температурный коэффициент сопротивления, максимальное рабочее напряжение и т. д.

При этом главными целями исследований являются:

- оценка *статистических* характеристик выборки: математического ожидания и среднего квадратического отклонения измеренных значений сопротивления и TKR ;
- экспериментальное определение законов распределения сопротивления и TKR .

В режиме исследования свойств разнотипных резисторов (кассета 4) отображается внешний вид и справочные данные *каждого* из резисторов. В этом случае реализуется возможность сравнить характеристики резисторов разных типов между собой, а также проконтролировать соответствие параметров, рассчитанных на основе результатов эксперимента, справочным данным.

4.2 Порядок выполнения работы

Ниже приводится примерный план выполнения лабораторной работы.

1. Детально изучите данные методические указания.
2. Выберите вид исследований и установите соответствующую кассету в термостат, закрепив ее на задней панели измерительного блока.
3. Включите измерительный блок и загрузите приложение стенда.
4. В окне коммутатора объектов выберите исследуемые образцы, включите нагрев и измерьте зависимости сопротивления исследуемых образцов от температуры $R(T)$, наблюдая поведение температурных характеристик на экране харктериографа. В процессе наблюдения можно масштабировать изображение, используя элементы управления масштабом окна харктериографа, а также курсор «мыши», выделяя левой кнопкой в окне построения графиков прямоугольные области из левого верхнего угла в правый нижний для увеличения масштаба, а из правого нижнего в левый верхний – для возврата к исходному масштабу.
5. Остановите нагрев при заданной температуре. (Максимальная температура нагрева 90°C , при ее достижении нагрев автоматически отключается.)
6. Откройте рабочую тетрадь и сохраните в ней результаты измерения температурных зависимостей сопротивления.
7. Используя вычисление производной в рабочей тетради, рассчитайте температурные коэффициенты сопротивления для исследуемых образцов и постройте графики их температурных зависимостей. Суть вычислений описывается формулой (2). Расчеты выполняйте в два этапа, сначала – вычисление производной, а затем – температурного коэффициента.

В случае исследования разнотипных резисторов.

8. Проанализируйте результаты измерений. Проконтролируйте, соответствуют ли измеренные значения R и TKR допустимым отклонениям от номинальных значений для каждого из резисторов. Проанализируйте достоинства и недостатки исследованных резисторов, ограничения на их применение. Сделайте выводы. Подготовьте отчет по результатам исследований.

В случае исследования свойств однотипных резисторов.

9. Проанализируйте поведение зависимостей $R(T)$, $R/R_0(T)$ и $TKR(T)$ как для отдельных экземпляров из выборки, так и для их средних значений. Проконтролируйте, соответствуют ли измеренные значения R и TKR допустимым отклонениям от номинальных значений для резисторов данного типа.
10. Скопируйте данные в *Excel*. На основе предложенного шаблона постройте гистограмму для R и TKR для заданной температуры. Проанализируйте полученные результаты. Сделайте вывод о соответствии закона распределения измеренных случайных величин нормальному закону. Подготовьте отчет по результатам исследований.

5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение основным параметрам постоянных резисторов.
2. Охарактеризуйте влияние температуры на параметры резистора.
3. Дайте определение температурного коэффициента сопротивления. Приведите формулы для расчета этого параметра.

4. Дайте классификацию резисторов по их конструкции.
5. Перечислите основные числовые характеристики случайных величин.
6. Приведите методику построения гистограммы статистического распределения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пасынков В. В., Сорокин В. С. Материалы электронной техники. – С-Пб.: Лань, 2001. -368с.
2. Дубровский В.В. и др. - Резисторы. Справочник. М.: Радио и связь, 1987.-352с.
3. Антипов Б. Л., Сорокин В. С., Терехов В. А.. Материалы электронной техники. Вопросы и задачи. – С-Пб.: Лань, 2003.
4. Справочник по электротехническим материалам / Под ред. Ю. В. Корицкого, В. В. Пасынкова, Б. М. Тареева. В 3- х т. – М.: Энергоатомиздат., 1988.