

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ  
им. проф. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»  
(СПбГУТ)

---

**КОМПЬЮТЕРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
РАСЧЕТНО-ПРОЕКТНОЙ  
И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

**Методические указания  
к лабораторным работам**

**СПб ГУТ)))**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**

**2017**

## СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа №1. Компьютерное моделирование .....	4
Лабораторная работа №2. Компьютерная обработка экспериментальных данных...	13
Лабораторная работа №3. Работа с графическими данными.....	33
Лабораторная работа №4. Средства разработки приложений .....	45
Перечень основной и дополнительной литературы.....	51

# **Лабораторная работа №1. Компьютерное моделирование**

## **Цель работы**

Закрепить практические навыки компьютерного моделирования

## **Задание на лабораторную работу**

Получить индивидуальное задание. Провести компьютерное моделирование полупроводникового прибора в соответствии с индивидуальным заданием. Составить компьютерную модель полупроводникового излучающего диода. Построить графики вольтамперных характеристик при различных значениях температуры. Построить графики вольтфарадных характеристик. Оформить отчет о результатах моделирования.

## **Содержание отчета**

цель работы,  
исходные данные,  
описание разработанной компьютерной модели,  
результаты моделирования.

## **Теоретические сведения**

Математической моделью полупроводникового прибора называется система уравнений, описывающих физические процессы в приборе, представленная в форме, допускающей ее объединение в математическую модель электронного устройства. Один и тот же прибор описывается большим количеством моделей, отличающихся степенью учета его особенностей и соответственно разной степенью точности, универсальности и экономичности.

Точность модели прибора, т.е. степень соответствия объекта (прибора) и его модели, оценивается только с точки зрения точности функционирования

электронного устройства и модели (степенью соответствия набора выходных параметров).

Экономичность модели полупроводникового прибора при ее использовании в модели электронного устройства характеризуется затратами машинного времени и времени на подготовку задачи к решению, затратами машинной памяти, затратами на измерение параметров модели. При прочих равных условиях перечисленные затраты будут тем больше, чем сложнее модель прибора и чем большим количеством параметров она описывается.

Степень универсальности модели определяется ее применимостью к анализу более или менее широкого класса схем. Низкая универсальность модели будет у модели прибора, которая может применяться в модели лишь одной конкретной схемы в одном режиме эксплуатации.

Противоречивость требований высокой точности и высокой степени универсальности, с одной стороны, и высокой экономичности модели, с другой стороны, очевидна: чем подробнее в модели прибора отражены его свойства, тем точнее и универсальнее модель, но тем большим числом параметров она описывается, тем больше требуется объем вычислений и используемой памяти ЭВМ.

Таким образом, современные модели полупроводниковых приборов лишь приближенно отражают свойства реальных приборов. Степень этого приближения зависит от уровня знаний и точности математического описания процессов в приборе, а так же от возможностей используемых ЭВМ, информационного обеспечения описания моделей.

Учитывая изложенные особенности, при моделировании используются функции и зависимости аппроксимирующие параметры реальных приборов. Значение параметров определены из справочной документации к конкретным моделям источников и приемников. Кроме того, используются обобщенные и типовые значения параметров наиболее распространенных типов СИД, ЛД и фотодиодов.

## *Модель светоизлучающего диода*

### Вольт-амперная характеристика р-п перехода

Вольт-амперная характеристика (ВАХ) р-п перехода – связь между током через р-п переход и приложенным напряжением. Уравнение (13) описывает ВАХ идеализированного р-п перехода, причем положительным считается напряжение, когда плюс источника напряжения приложен к р-области [6].

$$I = I_s \left( \exp\left(\frac{U}{\varphi_T \cdot m}\right) - 1 \right),$$

где  $I_s$  - тепловой обратный ток

$\varphi_T$  - температурный потенциал

$m$  - коэффициент рекомбинации, зависящий от электрофизических свойств

полупроводника. (для Ge  $m=1$ , для Si  $m=2$ , для GaAs  $m=3$ ).

Температурный потенциал

$$\varphi_T = \frac{k \cdot T}{q},$$

где

$q = 1.602 \cdot 10^{-19}$  - элементарный заряд, Кл

$k = 1.38 \cdot 10^{-23}$  - постоянная Больцмана, Дж/К

На рис. 1 приведены идеализированные вольтамперные характеристики для наиболее распространенных материалов.

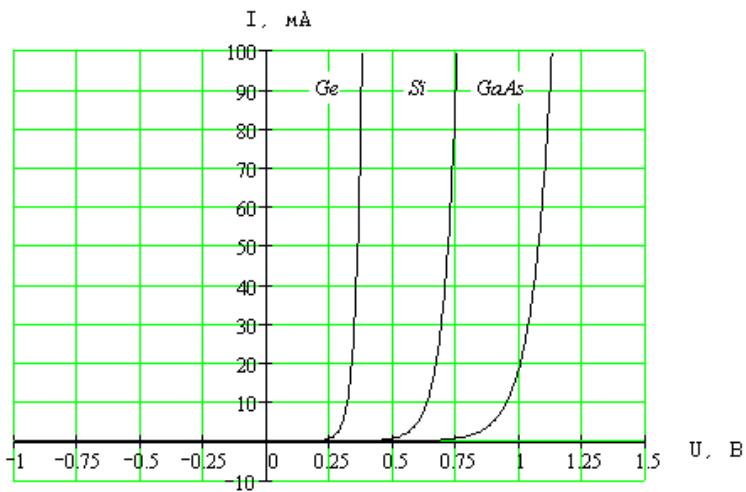


Рис. 1 ВАХ идеализированного р-п перехода

Ток  $I_s$  называют тепловым обратным током в соответствии с механизмом его образования и сильной зависимостью от температуры. Тепловой ток обусловлен тепловой генерацией неосновных носителей в нейтральных п- и р-областях перехода. Температурная зависимость теплового тока вызвана главным образом изменением концентрации неосновных носителей. Функцию  $I_s(T)$  характеризуют температурой удвоения  $T_y$ , т.е. приращением температуры, вызывающим удвоение тока:

$$T_y = (kT_0^2 \ln 2) / \Delta E_g ,$$

где  $T_0$  - средняя температура для рабочего диапазона, К

$\Delta E_g$  - ширина запрещенное зоны, Эв

Для заданной температуры  $T$  тепловой ток определяется из выражения:

$$I_s(T) = I_s(T_0) \cdot 2^{\Delta T / T_y} ,$$

где  $\Delta T = T - T_0$  - изменение температуры.

Для кремния температура удвоения вблизи  $T = 25$  °C составляет  $T_y \approx 4,5 \dots (6,5)$  °C. Если, например, температура повышается от -15 до +65 °C, тепловой ток увеличивается в  $2^{16}$  раза. Для германия при  $T = 25$  °C  $T_y \approx 8$  °C, при прежнем

повышении температуры тепловой ток возрастает в  $2^{10}$  раза. На рис. 2. представлены зависимости относительного изменения теплового тока от температуры.

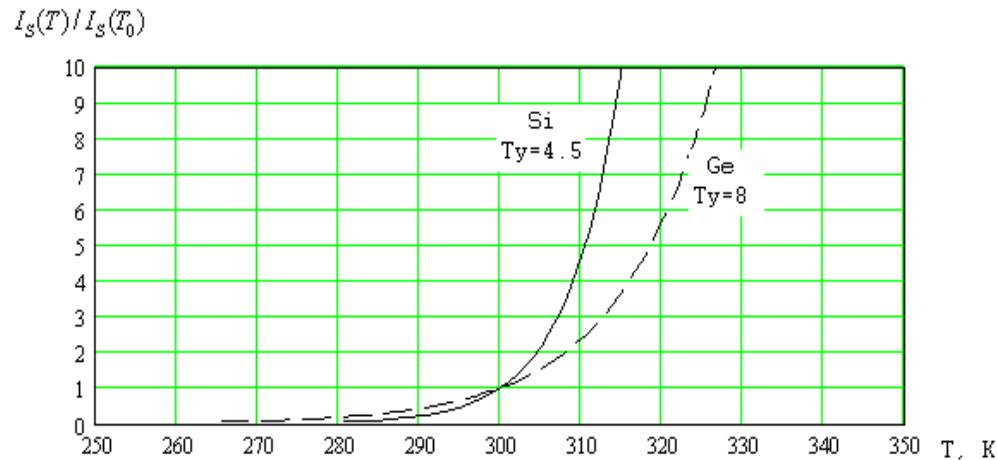


Рис. 2. Изменение теплового тока от температуры.

Тепловой ток резко снижается с ростом ширины запрещенной зоны, для кремния он меньше чем для германия. Тепловой ток уменьшается с ростом концентрации примесей вследствие снижения концентрации неосновных носителей. Чем выше концентрация примесей в данной области, тем меньше относительный вклад в тепловой ток носителей, генерируемых в этой области.

На рис. 3. представлена зависимость ВАХ р-п перехода на основе Si для рабочих температур.

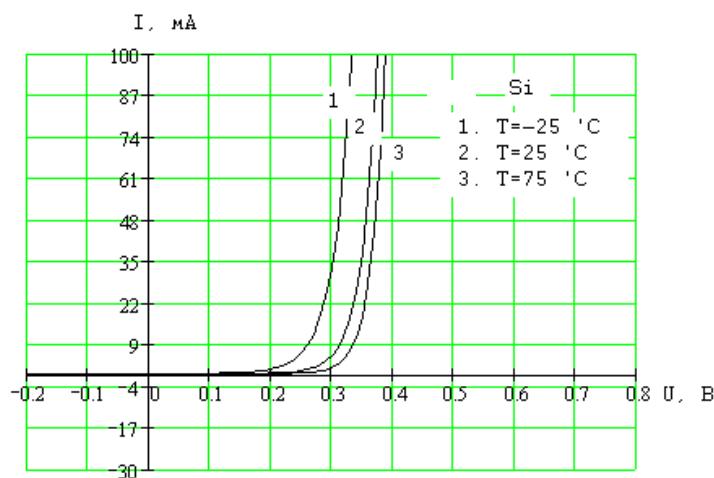


Рис. 3. Вольтамперная характеристики р-п перехода.

Можно выразить напряжение  $U$ , приложенное к области пространственного заряда р-п перехода, в функции тока:

$$U = \varphi_T \cdot m \cdot \ln(I / I_s + 1)$$

Выражение описывающее идеализированную ВАХ р-п перехода, учитывает далеко не все явления, происходящие в р-п переходе. В частности не учитывается омическое падение напряжения на высокомной области проводника и на контактах. Прежде всего, необходимо учитывать падение напряжения на сопротивлении слаболегированной области базы, которое называют сопротивлением базы  $r_B$ .

Падение напряжения на нем:

$$U_B = Ir_B,$$

тогда полное напряжение на диоде

$$U_D = U + U_B = \varphi_T \cdot m \cdot \ln(I / I_s + 1) + I \cdot r_B$$

Сопротивление базы зависит от ее удельного сопротивления и определяется геометрией растекания тока рекомбинации. Полное падение напряжения на диоде из-за наличия сопротивления базы увеличивается прямое падение напряжения на диоде и возрастает рассеиваемая на нем мощность.

Дифференциальное сопротивление р-п перехода.

$$r_{\text{diff}} = \frac{dU}{dI} = \frac{\varphi_T}{I + I_s}$$

При прямом смещении  $r_{\text{diff}}$  уменьшается с ростом тока. При обратном напряжении резко увеличивается. Дифференциальное сопротивление используется для описания работы р-п перехода на малом переменном сигнале.

## Емкость р-п перехода

### *Емкость при обратном напряжении.*

Изменение ширины запирающего слоя при приложении к р-п переходу внешнего напряжения  $U$  приводит к изменению объемного заряда ионизированных доноров в n-области и акцепторов в p-области, т. е. р-п переход обладает электрической емкостью. Емкость этого конденсатора называют *зарядной* или *барьерной емкостью* *p-n* перехода. Барьерная емкость равна отношению приращения заряда к вызвавшему это изменение приращению напряжения.

$$C_{\text{бар}} = \frac{dQ}{dU}$$

Ее влияние в электрических схемах проявляется в тех случаях, когда напряжение на р-п переходе изменяется во времени. Тогда помимо тока, определяемого статической ВАХ, протекает дополнительный емкостной ток, связанный с изменением объемных зарядов во времени:

$$I(t) = C(dU / dt)$$

В отличие от обычного конденсатора отношение заряда к полному напряжению на р-п переходе  $Q_{\text{об}} / (\varphi_k - U)$  не равно его емкости. Это объясняется нелинейностью зависимости  $Q_{\text{об}}$  от напряжения. Форма фольт-фарадной характеристики в общем случае зависит от распределения концентрации примесей в р-п переходе и выражается сложными функциями, поэтому применяют аппроксимацию:

$$C_{\text{бар}} = \frac{C_{\text{бар}}(0)}{(1 - U / \varphi_k)^m},$$

где  $C_{\text{бар}}(0)$  - значение барьерной емкости при  $U=0$ ,

$\varphi_k$  - контактная разность потенциалов

$m$  - коэффициент, зависящий от типа распределения концентрации примесей. Типичные значения  $m=0,3\dots0,5$  (для плавного p-n перехода с линейным распределением концентрации примесей  $m=0,3$ , для резкого  $m=0,5$ ).

Зависимость емкости от напряжения называется вольт-фарадной характеристикой. Типичная характеристика для резкого и плавного перехода в безразмерных координатах показана на рисунке.

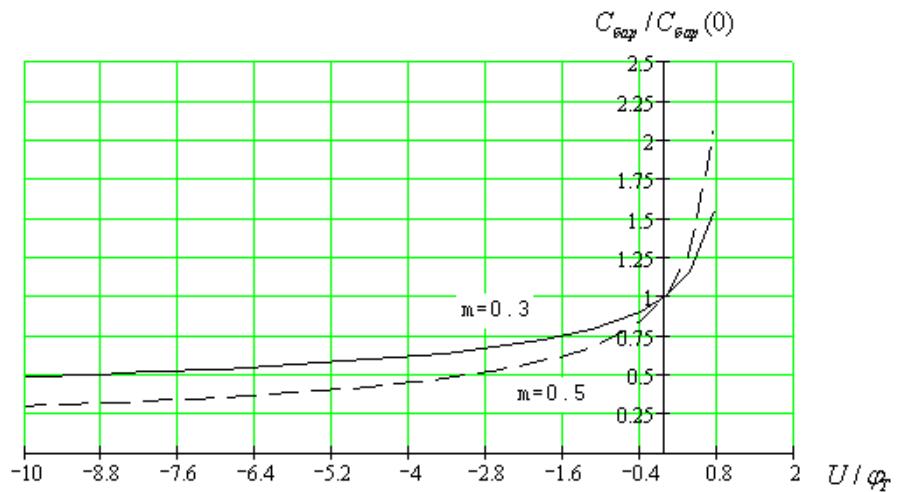


Рис. 4. Фольтфарадная характеристика.

Таким образом с увеличением обратного напряжения барьерная емкость уменьшается пропорционально  $(\varphi_k - U)^{-1/2}$  для резкого p-n перехода и  $C_{\text{бар}} = (\varphi_k - U)^{-1/3}$  для плавного. При прямых напряжениях допущения не выполняются, сказывается сильное влияние диффузионной емкости p-n перехода.

### **Емкость при прямом напряжении**

В этом случае существует две физические причины, обуславливающие емкость p-n перехода. Первая из них, та же, что и для обратного напряжения, это изменение зарядов в обедненном слое. Вторая заключается в том, что в зависимости от напряжения приложенного к p-n переходу, изменяется концентрация

инжектированных носителей в нейтральных областях вблизи границ перехода и значение накопленного заряда, обусловленного этими носителями.

Для малого синусоидального сигнала на низких частотах  $f \ll 2/(\pi \cdot \tau_{\phi})$  диффузационная емкость:

$$C_{\phi} = kI_S \tau_{\phi} \exp(U_0 / \varphi_T) / \varphi_T,$$

где  $k=0,5 \dots 0,1$  - коэффициент, зависящий от толщины базы ( $k=0,5$  для перехода с «толстой базой»  $k=0,1$  для перехода с тонкой базой).

$\tau_{\phi}$  - эффективное время жизни неосновных носителей в базе.

$U_0$  - постоянная составляющая.

На высоких частотах  $f \gg 2/(\pi \cdot \tau_{\phi})$  диффузационная емкость уменьшается с ростом частоты до нуля, так как диффузии неосновных носителей через базу необходимо время  $\tau_{\phi}$ , а в течение малого периода  $T \ll \tau_{\phi}$  заряд не успевает измениться.

Выражение (25) пригодно и для несинусоидальных сигналов большой амплитуды, напряжение которых меняется медленно со временем нарастания или спада много больше  $\tau_{\phi}/4$ , тогда вместо  $U_0$  надо подставлять  $U(t)$ , а емкость изменяется во времени. Для быстро меняющихся сигналов формула (25) непригодна, так как влияние диффузационной емкости при быстрых изменениях напряжения и токов пренебрежимо мало и им можно пренебречь.

При  $U_0 \gg \varphi_T$  справедлива приближенная запись:

$$C_{\phi} \approx kI \tau_{\phi} / \varphi_T,$$

где  $k = 0.5 \dots 1$  - коэффициент, зависящий от толщины базы ( $k = 0.5$  для  $W_B \gg L_p$  (толщина базы много больше диффузационной длины дырок в n-области) и  $k = 1.0$  для  $W_B \ll L_p$ )

$I$  – прямой ток, протекающий через диод

$\tau_{\phi}$  - эффективное время диффузии (время жизни) неосновных носителей в базе.

Полная емкость представляется в виде суммы двух слагаемых:

$$C = C_{\delta ap} + C_{\phi},$$

Эквивалентная схема диода

Эквивалентная схема (модель) диода показана на рис.5.

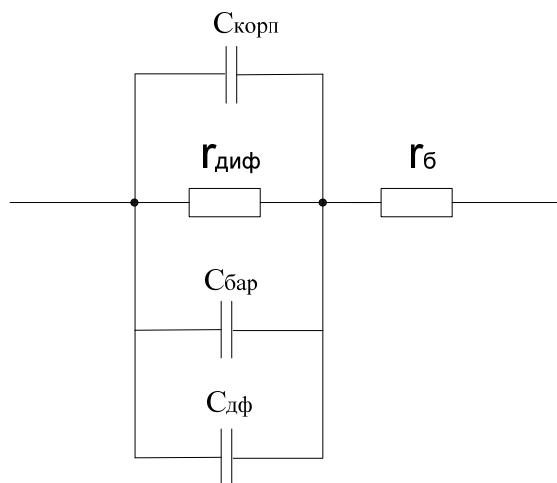


Рис. 20. Эквивалентная схема диода.

В схеме:

$r_{\phi}$  - дифференциальное сопротивление идеализированного р-п перехода

$r_B$  - сопротивление базы диода,

$C_{корп}$  - ёмкость, характеризующая ёмкость корпуса

$C_{\delta ap}$  - барьерная ёмкость перехода

$C_{\phi}$  - диффузионная ёмкость

## **Лабораторная работа №2 Компьютерная обработка экспериментальных данных**

### **Цель работы**

Закрепить теоретические сведения и навыки по компьютерной обработке экспериментальных данных

### **Задание на лабораторную работу**

Ознакомиться с теоретическими сведениями по теме лабораторной работы.

Получить индивидуальное задание у преподавателя.

Провести оцифровку экспериментальных данных.

Применить методы компьютерной обработки

Оформить отчет по лабораторной работе

### **Содержание отчета**

цель работы,  
исходные данные,  
описание методов обработки данных  
результаты обработки, графики.

### **Теоретические сведения**

## **АППРОКСИМАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ**

### **Простая линейная регрессия**

Пусть в результате эксперимента мы получаем пары данных  $(x_i, y_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ . Пару значений  $(x_i, y_i)$  называют результатом измерения. Величины  $x_i$  будем называть факторами, а величины  $y_i$  – откликами. Стоит задача исследовать зависимость  $Y$  от  $X$ . Метод исследования зависимости между двумя переменными называется *регрессией*. Отклик можно представить в виде

$$Y = f(X, \Theta) + \varepsilon \quad \text{или} \quad y_i = f(x_i, Q) + \varepsilon,$$

где  $\Theta$  – параметры функции  $f$ ,  $\varepsilon$  – некоторая случайная величина. Иногда  $\varepsilon$  называют ошибкой эксперимента (если бы мы измерили  $x$  и  $y$  «абсолютно точно», то  $\varepsilon$  не было бы). Требуется отыскать такую функцию  $f(X, \Theta)$ , которая являлась бы наилучшим приближением  $Y$ .

Функция  $f(X, \Theta)$  называется регрессией  $Y$  по  $X$ , а ее график – линией регрессии  $Y$  по  $X$ , или уравнением регрессии. На практике линия регрессии чаще всего ищется в виде линейной функции, т.е.  $f(X, \Theta)$  линейная функция

$$Y = A + BX.$$

Для наших экспериментальных данных

$$y_i = A + BX_i + \varepsilon_i.$$

Встает задача по результатам измерений  $(x_i, y_i)$  найти значения  $A$  и  $B$ , точнее найти оценки  $\hat{A}$  и  $\hat{B}$ . Если бы мы знали  $A$  и  $B$  абсолютно точно, то истинное значение откликов

$$y_i^{\text{ист}} = A + BX_i.$$

### Метод наименьших квадратов

Для оценки  $\hat{A}$  и  $\hat{B}$  можно применить различные подходы. Одним из наиболее распространенных является *метод наименьших квадратов* (МНК), когда минимизируется сумма квадратов отклонений реально наблюдаемых значений  $Y$  от их оценок  $\hat{Y}$ . Сделаем следующие допущения:

1. ошибки в измерении  $x_i$  пренебрежимо малы:  $\sigma_{x_i} \approx 0$ ;
2. ошибки в измерении откликов одинаковы для всех  $y_i$ :  $\sigma_{y_i} = \sigma_y$ .

Результат измерения  $y_i$  подчиняется нормальному распределению, следовательно, вероятность получения значения  $y_i$ :

$$P(y_i) \sim \frac{1}{\sigma_y} e^{-\frac{(y_i - A - BX_i)^2}{2\sigma_y^2}}.$$

Вероятность получения всех наблюдаемых значений  $y_1, y_2, \dots, y_n$

$$P(y_1, \dots, y_n) = P(y_1) \cdot \dots \cdot P(y_n) \sim e^{-\frac{\chi^2}{2}},$$

где

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - A - BX_i)^2}{\sigma_y^2}.$$

Наилучшие оценки для  $A$  и  $B$  – это такие значения, при которых вероятность  $P(y_1, \dots, y_n)$  будет максимальной, а следовательно сумма  $\chi^2$  – минимальна, т.е.

$$\dot{\mathbf{a}} \left( y_i - A - BX_i \right)^2 = L \circledR \min.$$

Фактически в скобках стоит расстояние по вертикали от экспериментальной точки до прямой с параметрами  $A$  и  $B$ . Условия минимума:

$$\frac{\partial L}{\partial A} = 0, \quad \frac{\partial L}{\partial B} = 0.$$

Взяв частные производные, получим систему уравнений (мы опускаем границы суммирования от  $i = 1$  до  $n$  у знака суммы):

$$\sum (-2)(y_i - A - Bx_i) = 0, \quad \sum (-2x_i)(y_i - A - Bx_i) = 0.$$

Решив данную систему, получаем выражения для нахождения  $A$  и  $B$ :

$$A = \frac{\sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i \sum x_i y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} = \bar{y} - B\bar{x},$$

$$B = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \cdot \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} = \frac{\sum x_i y_i - \bar{y} \sum x_i}{\sum x_i^2 - \bar{x} \sum x_i} = \frac{\bar{xy} - \bar{x} \bar{y}}{\bar{x}^2 - \bar{x}^2}.$$

Напомним, что

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

Каковы погрешности в оценках  $A$  и  $B$ ? Чтобы ответить на этот вопрос необходимо найти  $\sigma_y$ . Результаты  $y_1, y_2, \dots, y_n$  не являются результатами серии из  $n$  измерений одной и той же величины. Наилучшей оценкой стандартного отклонения откликов является величина

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (y_i - A - Bx_i)^2.$$

Теперь, зная  $\sigma_y$ , и помня, что  $\sigma_x \approx 0$ , мы можем определить оценки  $\sigma_A$  и  $\sigma_B$ , рассматривая  $A$  и  $B$  как результаты косвенных измерений:

$$\sigma_A = \sqrt{\sum_i \left( \frac{\partial A}{\partial y_i} \sigma_y \right)^2}; \quad \sigma_B = \sqrt{\sum_i \left( \frac{\partial B}{\partial y_i} \sigma_y \right)^2},$$

$$\sigma_A^2 = \sigma_y^2 \cdot \frac{\sum x_i^2}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} = \sigma_y^2 \frac{\bar{x}^2}{n(\bar{x}^2 - \bar{x}^2)} = \bar{x}^2 \cdot \sigma_B^2,$$

$$\sigma_B^2 = \sigma_y^2 \cdot \frac{n}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} = \frac{\sigma_y^2}{n(\bar{x}^2 - \bar{x}^2)} = \frac{\sigma_y^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2}.$$

## Обработка результатов прямых измерений

1. Провести измерение  $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$

2. Вычислить среднее значение из  $n$  измерений

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum x_i$$

3. Найти погрешность отдельного измерения

$$\Delta x_i = \bar{x} - x_i$$

4. Определить СКО  $S = \sqrt{\frac{\sum (\Delta x)^2}{n(n-1)}}$

5. Задать значение надежности (обычно  $p=0.95$ )

6. Определить коэффициент Стьюдента  $t$  для заданной надежности и числа произведенных измерений  $n$

7. Найти доверительный интервал (погрешность измерения)  $\Delta x = \bar{x} \pm \Delta x$

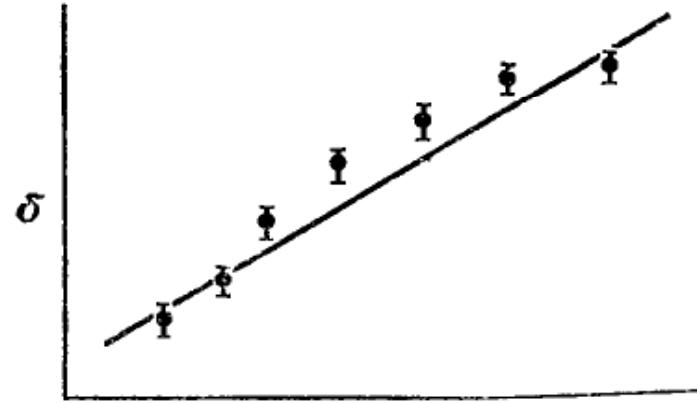
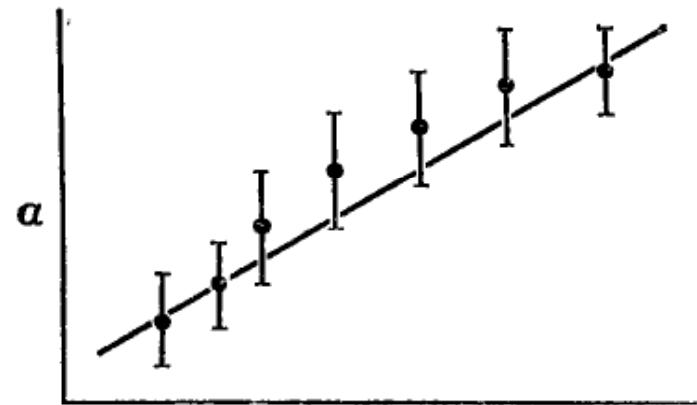
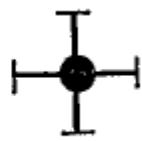
8. Оценить относительную погрешность измерений

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\%$$

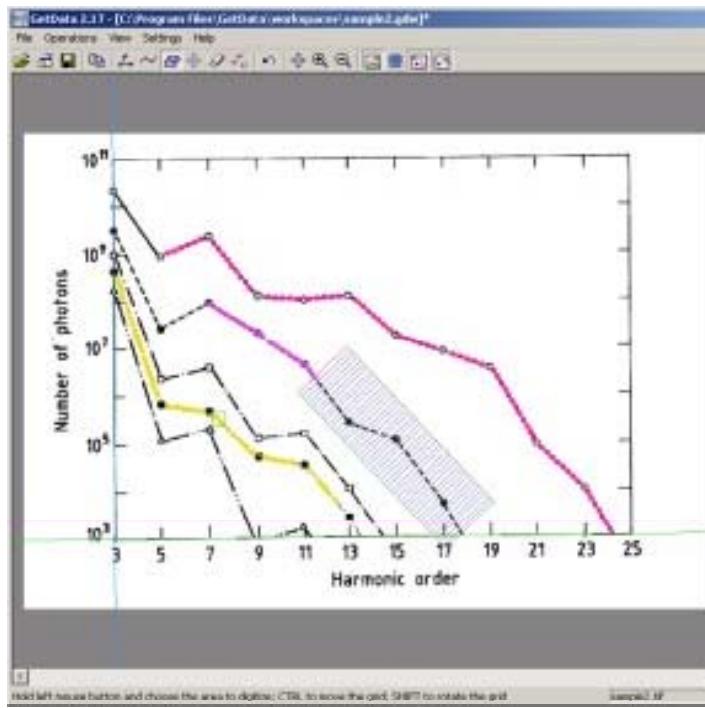
## Указание ошибки при построении графиков



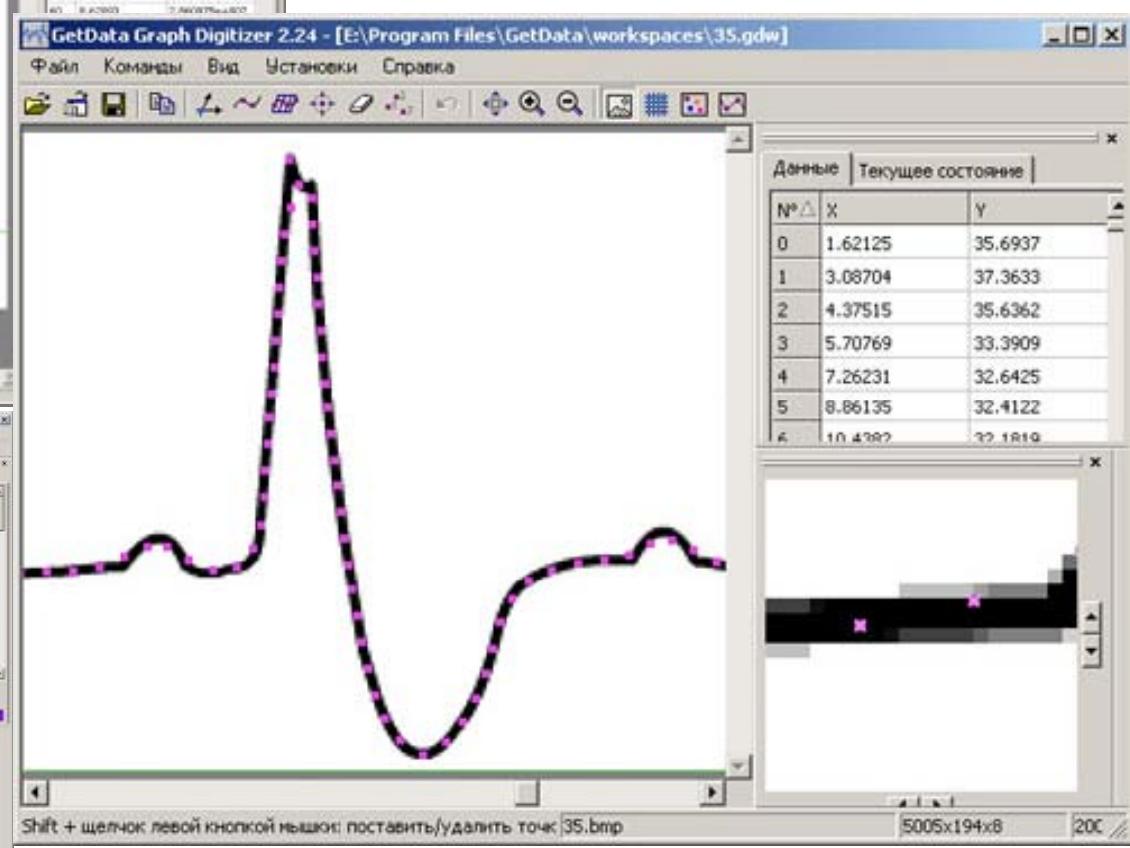
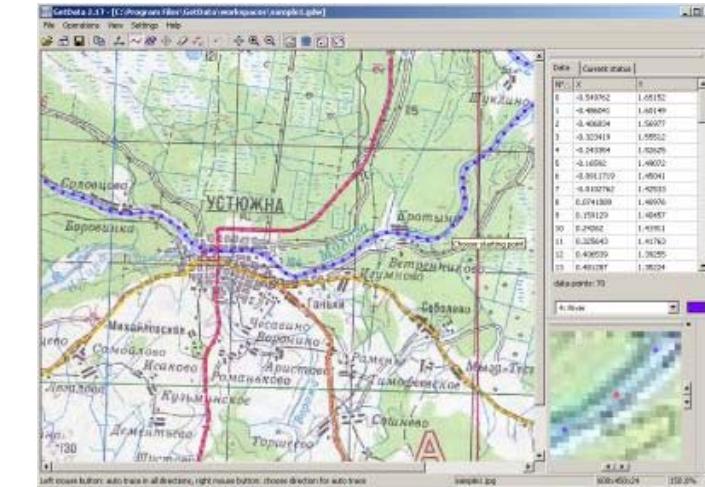
или



## Программы для оцифровки графиков



GetData Graph Digitizer

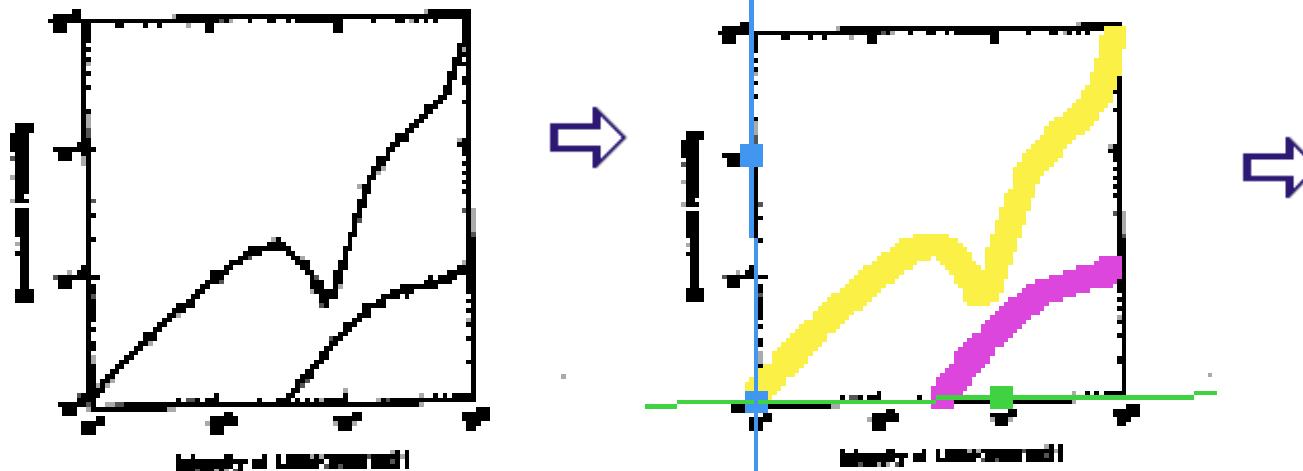


<http://www.getdata-graph-digitizer.com>

# GetData Graph Digitizer – Программа для оцифровки графиков

Процесс оцифровки состоит из четырех шагов:

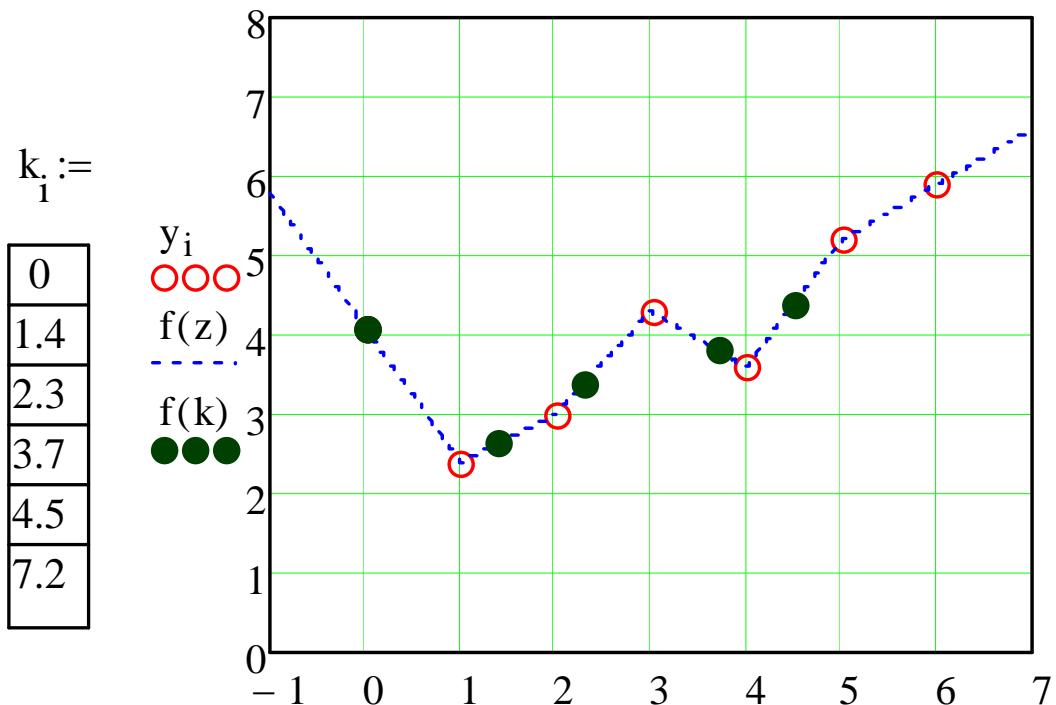
- 1 открыть график,
- 2 установить масштаб (систему координат),
- 3 оцифровать (автоматически или вручную), и
- 4 скопировать данные в буфер обмена, или экспорттировать в TXT, XLS, XML, DXF или EPS файл.



N	X	Y
0	1.076250e+009	1.294461e-005
1	1.095498e+009	1.425229e-005
2	1.131574e+009	1.566258e-005
3	1.459930e+009	1.731142e-005
4	1.612313e+009	1.893750e-005
5	1.761249e+009	2.106676e-005
6	1.8259179e+009	2.297500e-005
7	2.1420704e+009	2.639364e-005
8	2.3689524e+009	2.779990e-005
9	2.619958e+009	3.049146e-005
10	2.897580e+009	3.344381e-005
11	3.186956e+009	3.682329e-005
12	3.517633e+009	4.046573e-005
13	3.861272e+009	4.464025e-005
14	4.244270e+009	4.990770e-005

# Интерполяция

Интерполяция — способ нахождения промежуточных значений величины по имеющемуся дискретному набору известных значений.



## Линейная интерполяция

$f(z) := \text{linterp}(x, y, z)$

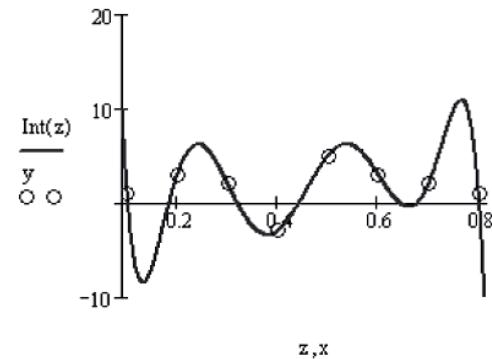
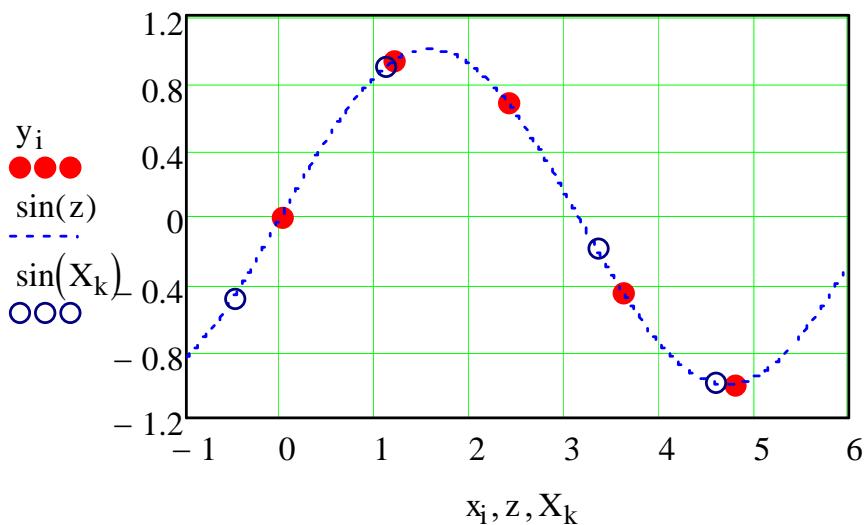
точках  $x_i$  значения  
интерполяционной функции  
должны совпадать с исходными  
данными

Интерполяция использует значения некоторой функции, заданные в ряде точек, чтобы предсказать значения функции между ними.

`linterp(x, y, k)` - функция, аппроксимирующая данные векторов  $x$  и  $y$  укусочно-линейной зависимостью;  
 $x$  - вектор действительных данных аргумента;  
 $y$  - вектор действительных данных значений того же размера;  
 $k$  - значение аргумента, при котором вычисляется интерполирующая функция.

## Интерполяция сплайнами

Сплайн (от англ. *spline*, от [flat] *spline*) — гибкое лекало, математическое представление плавных кривых



VS - вектор, содержащий значения вторых производных сплайна в экспериментальных точках

строит сплайн с линейным продолжением

$\text{VS1} := \text{lspline}(x, y)$        $gl(z) := \text{interp}(\text{VS1}, x, y, z)$

продолжена после краевых точек параболой

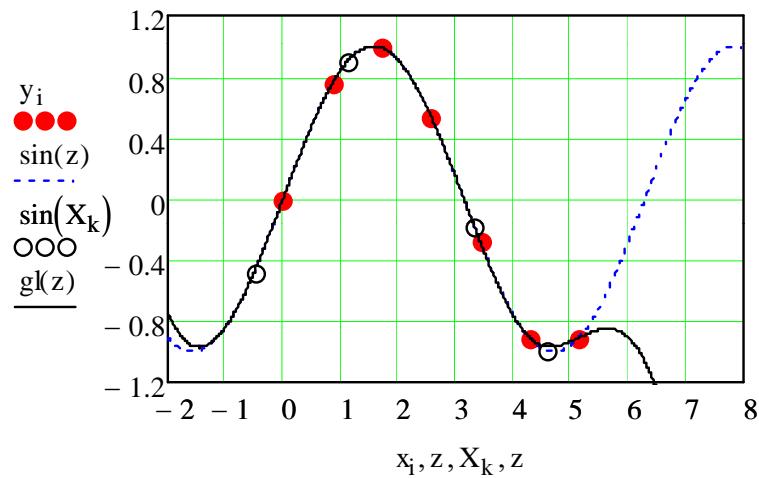
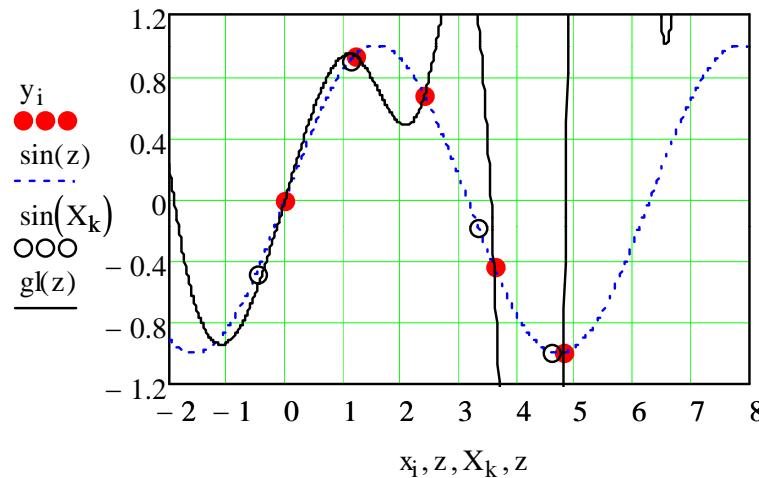
$\text{VSp} := \text{pspline}(x, y)$        $gp(z) := \text{interp}(\text{VSp}, x, y, z)$

сплайн с продолжением кубической параболой

$\text{VSc} := \text{cspline}(x, y)$        $gc(z) := \text{interp}(\text{VSc}, x, y, z)$

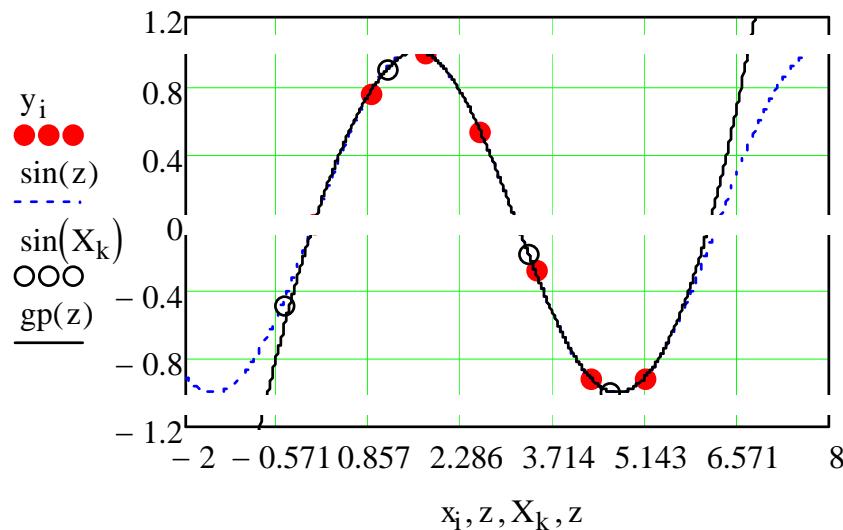
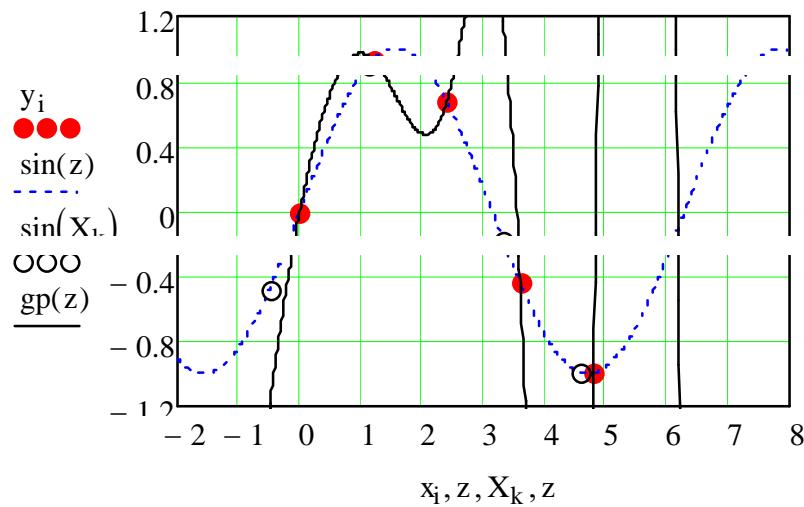
# Интерполяция сплайнами

строит сплайн с линейным продолжением



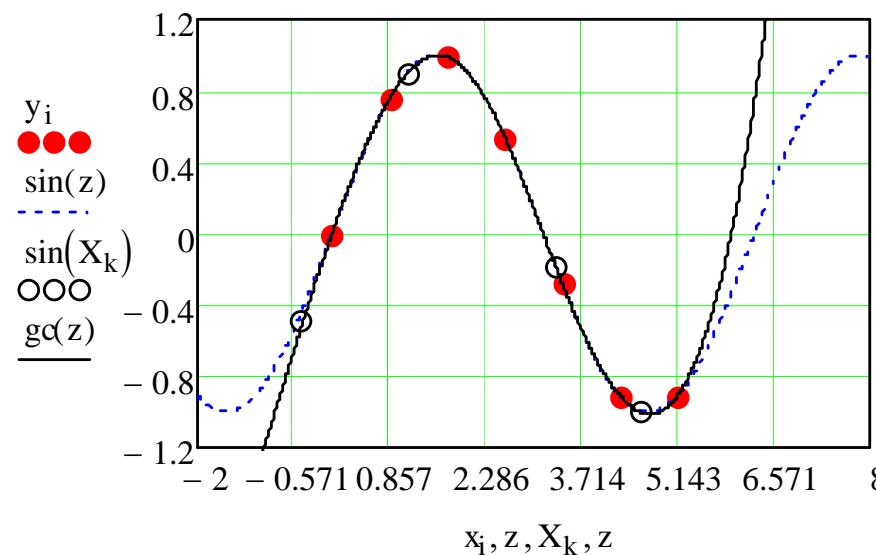
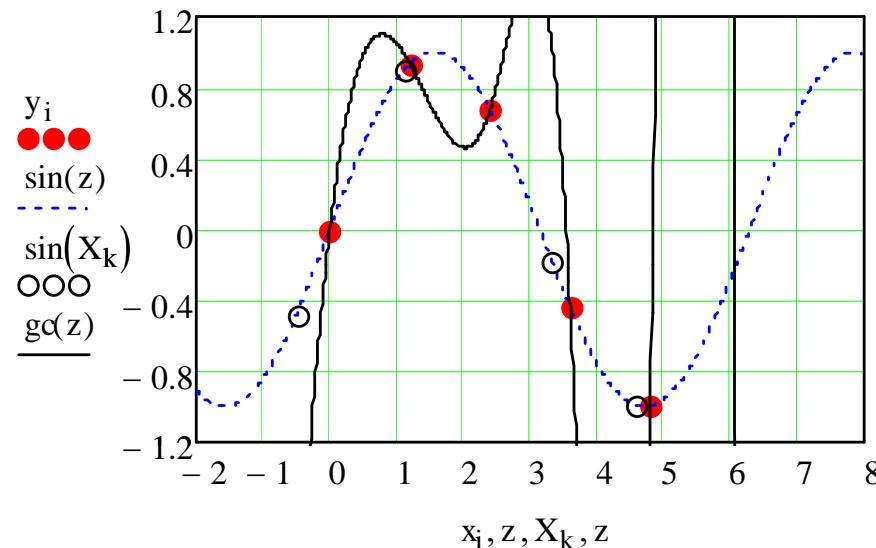
# Интерполяция сплайнами

продолжена после краевых точек параболой



# Интерполяция сплайнами

сплайн с продолжением кубической параболой



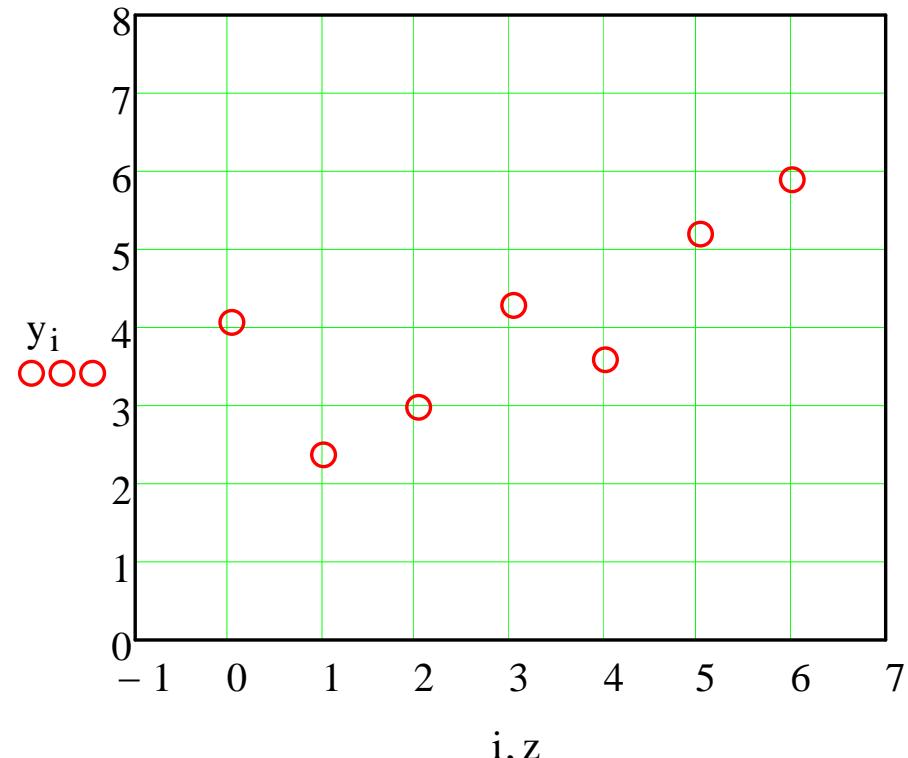
## Регрессия (аппроксимация, приближение) Линейная регрессия. Метод наименьших квадратов

$x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n;$   
 $y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_n.$

$x :=$	0
0	1
1	2
2	3
3	4
4	5
5	6
6	7

$y :=$	0
0	4.1
1	2.4
2	3
3	4.3
4	3.6
5	5.2
6	5.9

$$y = a + bx.$$



Метод наименьших квадратов требует, чтобы сумма квадратов отклонений экспериментальных точек от кривой, т.е.  $[y_i - f(x_i)]^2$  была наименьшей.

## Метод наименьших квадратов.

$\text{A}_{\text{mm}} := \text{intercept}(x, y)$

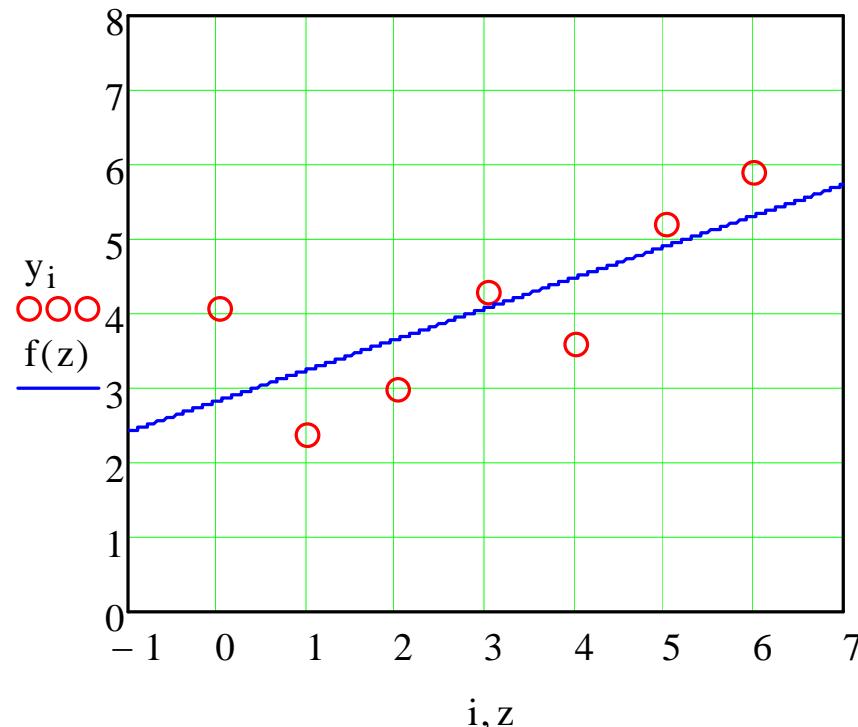
$B := \text{slope}(x, y)$

$f(z) := A + B \cdot z$

$A = 2.829$

$B = 0.414$

Коэффициенты уравнения  
линейной регрессии



## Аппроксимация полиномом (полиномиальная регрессия)

$$P_N(x) = c_N \cdot x^N + c_{N-1} \cdot x^{N-1} + c_{N-2} \cdot x^{N-2} + \dots + c_1 \cdot x + c_0 = \sum_{n=0}^N c_n \cdot x^n$$

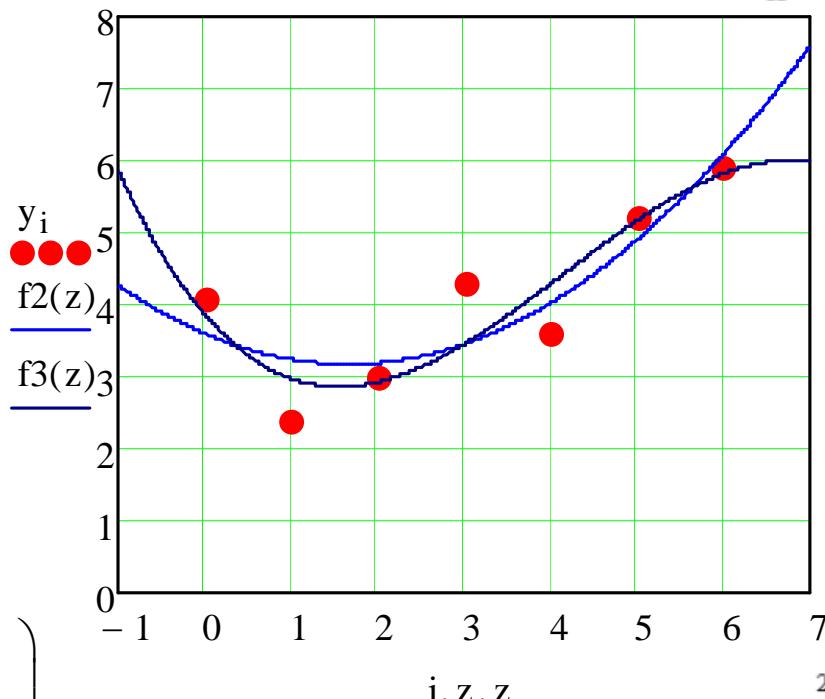
$k2 := 2$        $k3 := 3$

$vs2 := \text{regress}(x, y, k2)$

$vs3 := \text{regress}(x, y, k3)$

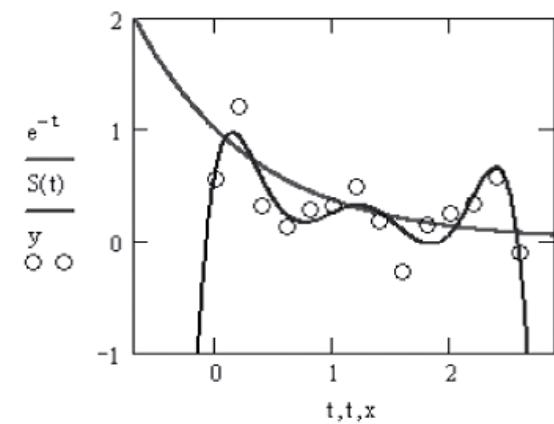
$f2(z) := \text{interp}(vs2, x, y, z)$

$f3(z) := \text{interp}(vs3, x, y, z)$



$$vs2 = \begin{pmatrix} 3 \\ 3 \\ 2 \\ 3.602 \\ -0.514 \\ 0.155 \end{pmatrix}$$

$$vs3 = \begin{pmatrix} 3 \\ 3 \\ 3 \\ 3.869 \\ -1.403 \\ 0.555 \\ -0.044 \end{pmatrix}$$



# Регрессия отрезками полиномов

$N := 30$

$Err := rnorm(N, 0, 0.5)$

$i := 0..N - 1$        $x_i := -2\pi + 4 \cdot \pi \cdot \frac{i}{N - 1}$

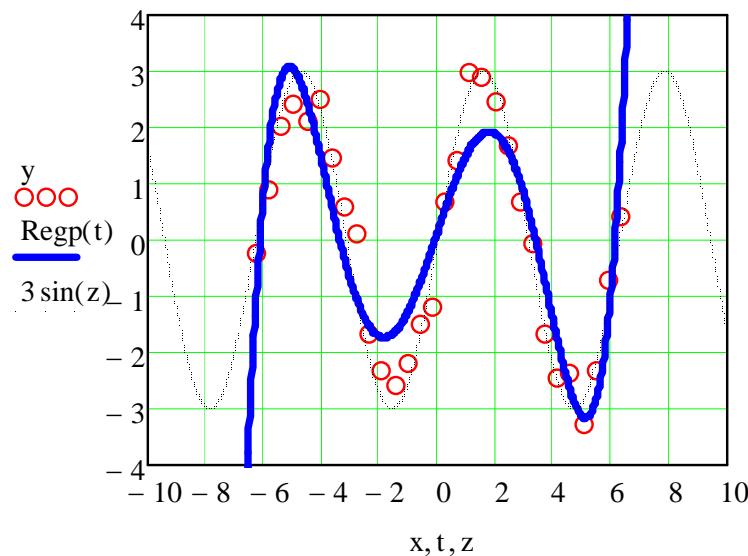
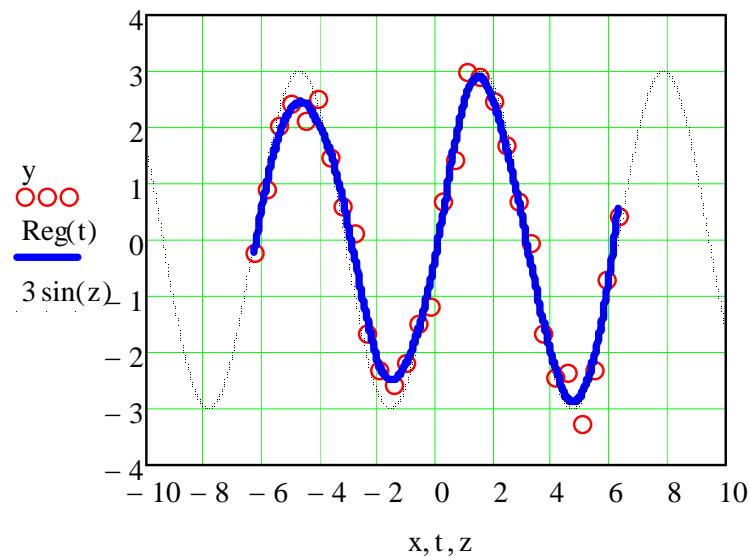
$y_i := 3 \cdot \sin(x_i) + Err_i$

$R := loess(x, y, 0.3)$       0.3 span

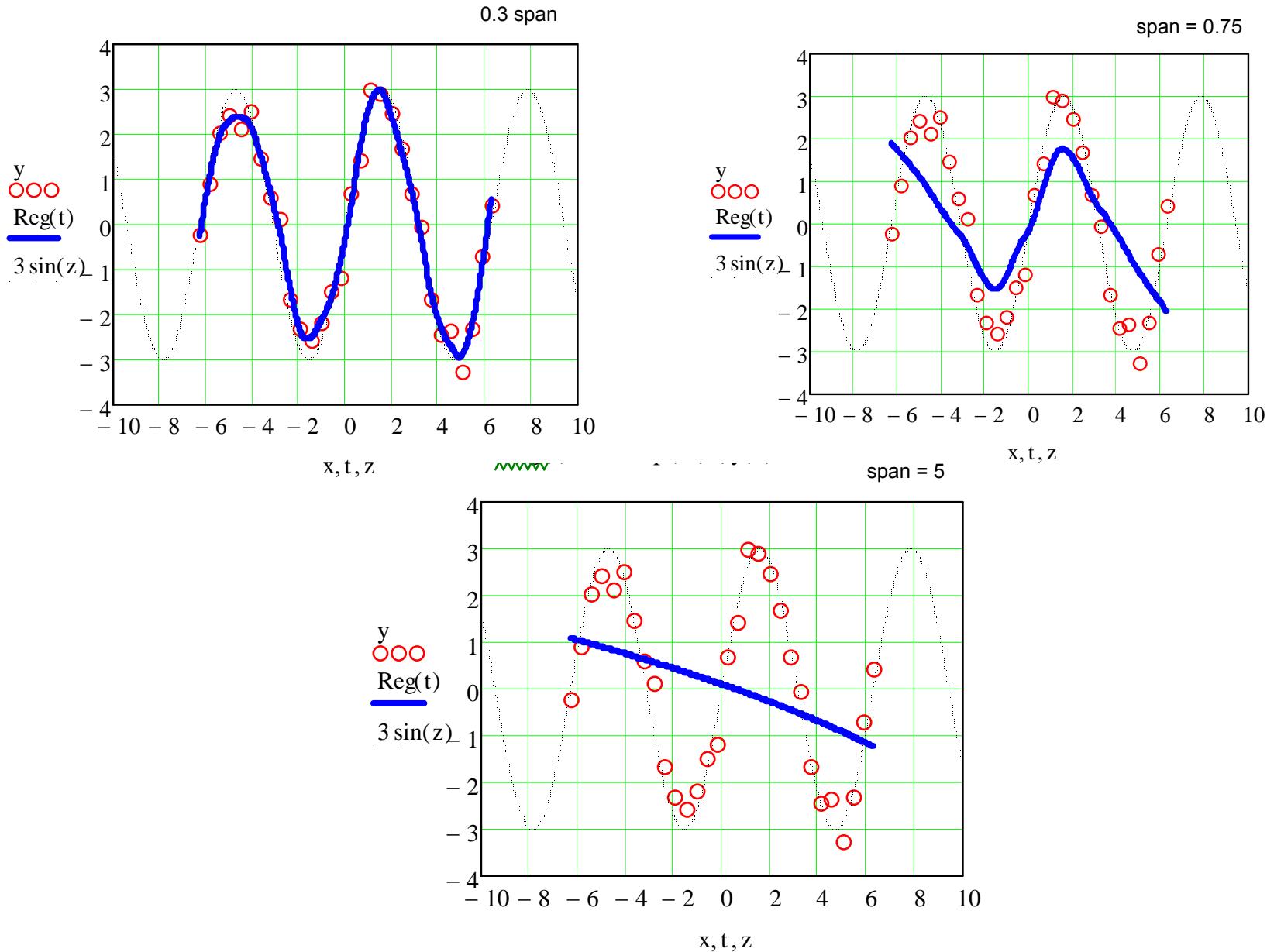
$Rp := regress(x, y, 5)$

$Reg(t) := interp(R, x, y, t)$

$Regp(t) := interp(Rp, x, y, t)$



## Регрессия отрезками полиномов второй степени



## Функции сглаживания данных

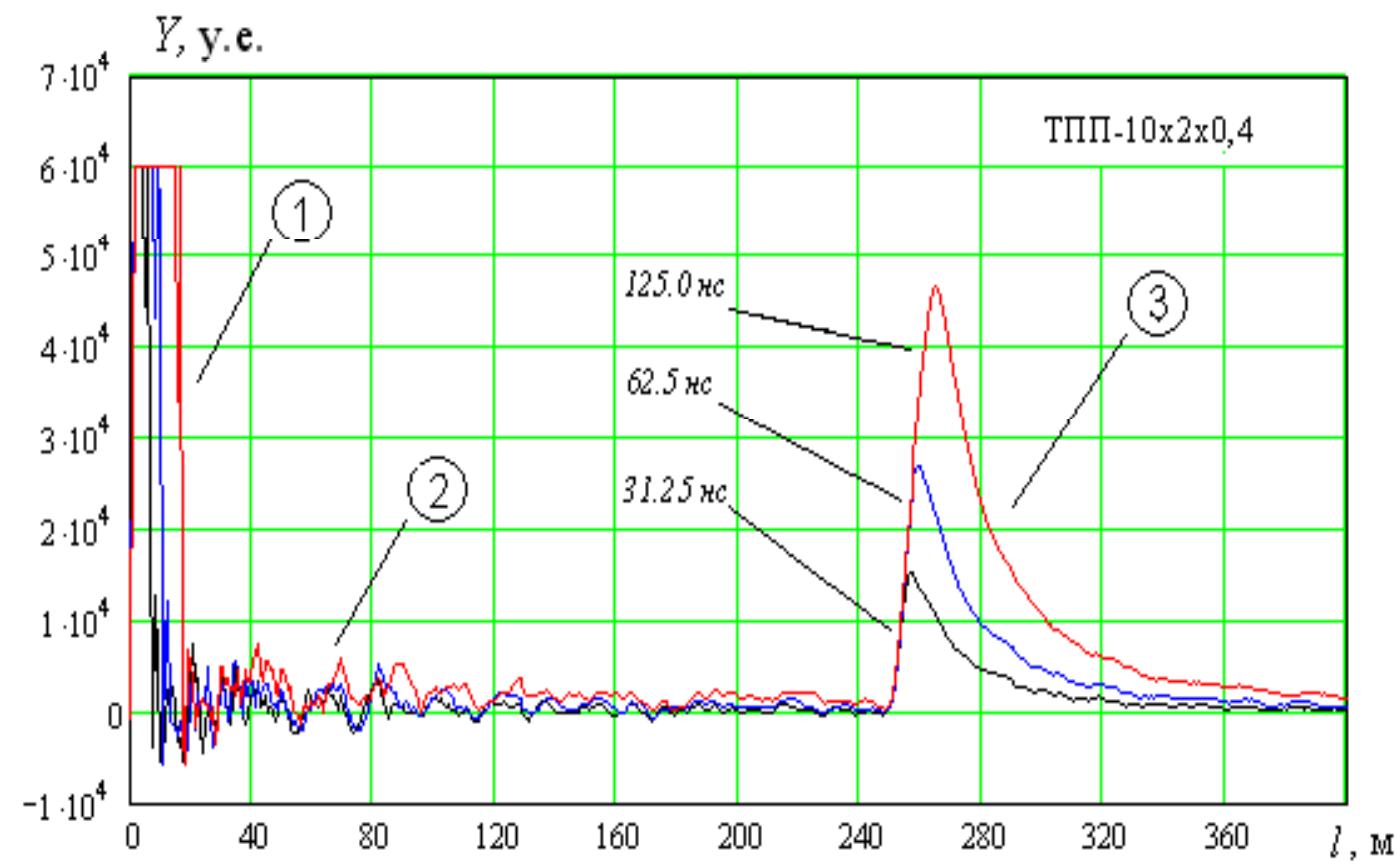
Данные большинства экспериментов имеют случайные составляющие погрешности. Поэтому часто возникает необходимость статистического сглаживания данных. Ряд функций MathCAD предназначен для выполнения операций сглаживания данных различными методами. Вот перечень этих функций:

**medsmooth(VY,n)**— для вектора с  $m$  действительными числами возвращает  $m$ -мерный вектор сглаженных данных по методу скользящей медианы, параметр  $n$  задает ширину окна сглаживания ( $n$  должно быть нечетным числом, меньшим  $m$ );

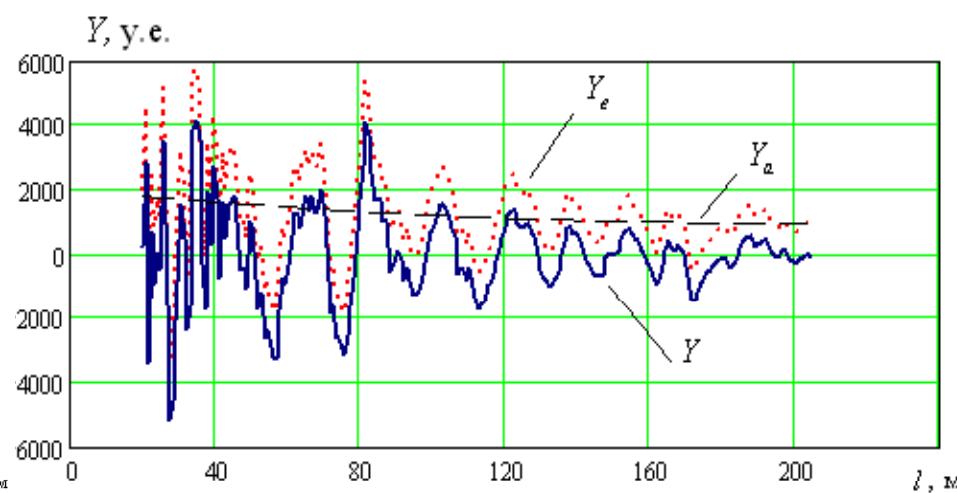
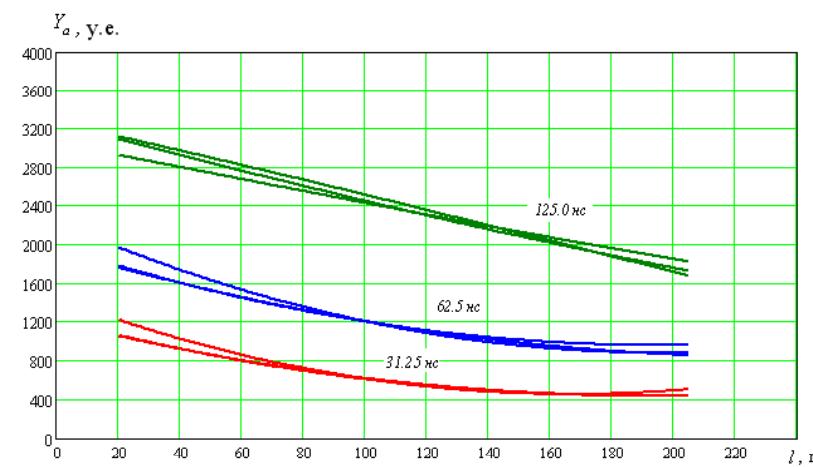
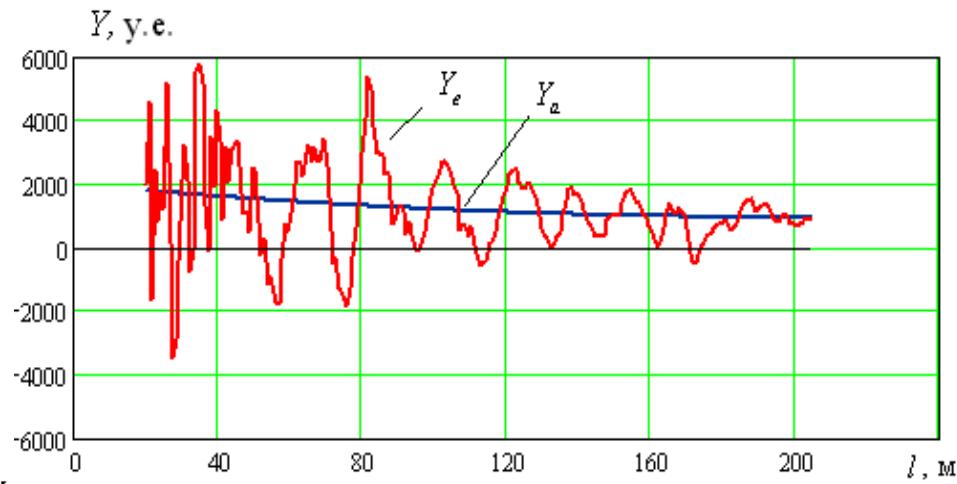
**ksmooth(VX, VY, b)** — возвращает  $n$ -мерный вектор сглаженных  $VY$ , вычисленных на основе распределения Гаусса.  $VX$  и  $VY$  —  $n$ -мерные векторы действительных чисел. Параметр  $b$  (полоса пропускания) задает ширину окна сглаживания ( $b$  должно в несколько раз превышать интервал между точками по оси  $x$ );

**supsmooth(VX, VY)** — возвращает  $n$ -мерный вектор сглаженных  $VY$ , вычисленных на основе использования процедуры линейного сглаживания методом наименьших квадратов по правилу  $k$ -ближайших соседей с адаптивным выбором  $k$ .  $VX$  и  $VY$  —  $n$ -мерные векторы действительных чисел. Элементы вектора  $VX$  должны идти в порядке возрастания.

## Оформление графиков



## Примеры использования функции регрессии



# **Лабораторная работа № 3**

## **Работа с графическими данными**

### **Цель работы**

Закрепить практические навыки работы с графическими данными

### **Задание на лабораторную работу**

Получить индивидуальное задание у преподавателя.

Примеры заданий:

- начертить фрагмент участка кабельной сети,
- начертить блок-схему алгоритма,
- начертить схему размещения оборудования в телеком. шкафу.

Ознакомиться с интерфейсом и методами работы в графическом редакторе.

Оформить отчет по лабораторной работе.

### **Содержание отчета**

цель работы,  
исходные данные, индивидуальное задание  
выполненный чертеж (схема).

### **Теоретические сведения. Основные методы работы в редакторе Visio.**

## **Запуск Visio**

Нажмите кнопку "Пуск", введите **Visio** и щелкните значок Visio, чтобы открыть приложение. (Если приложение Visio уже открыто, выберите **Файл > Создать.**)

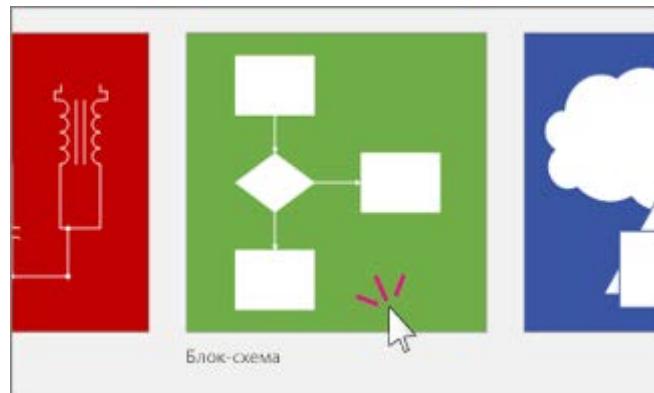
## **Начальные схемы**

Прежде чем создавать схемы самостоятельно, изучите несколько начальных схем, предлагаемых в Visio. Это поможет вам понять, что такое схемы.

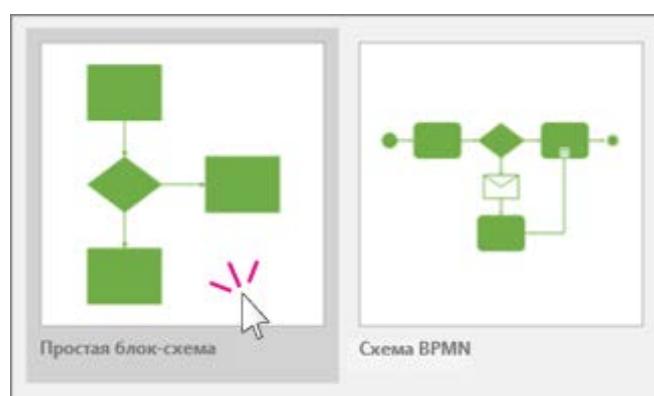
1. Щелкните Категории.



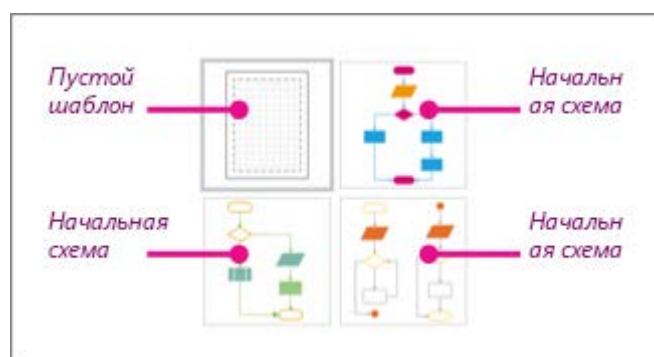
2. Выберите **Блок-схема**.



3. Обратите внимание на это действие: один раз щелкните эскиз **Простая блок-схема**.



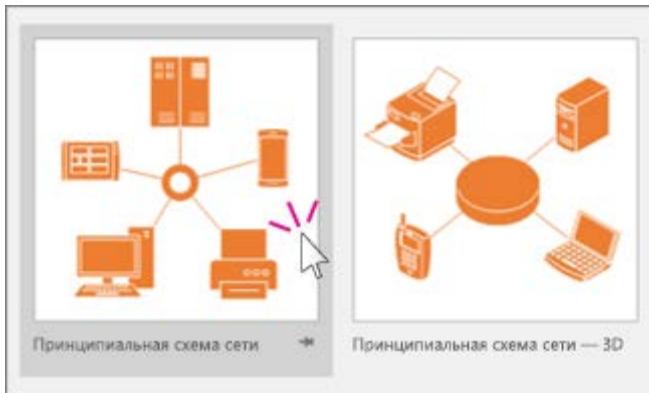
4. Давайте изучим это диалоговое окно.



Когда у вас будет опыт работы с Visio (например, после того как вы создадите несколько схем на основе шаблона), вы можете выбрать пустой шаблон. А пока выберите одну из трех других начальных схем.

5. Дважды щелкните один из эскизов.

6. Это схема starter. Visio содержит много начальных схем сообщить идеи и примеры. Настройка эта диаграмма starter путем ввода текста, добавление собственных фигур и т. д. Кроме того ознакомьтесь со статьей советы и рекомендации. Эти справки, с которыми вы работаете схему.
7. Откроем другую начальную схему. Выберите **Файл > Создать > Категории > Сеть**.
8. Один раз щелкните эскиз **Базовая сеть**.



9. Дважды щелкните один из двух эскизов начальных схем.

Это еще один пример того, что можно сделать с помощью Visio. Откройте меню **Файл > Создать > Категории** и изучите различные начальные схемы в Visio. Они предлагаются для многих распространенных, хотя и не для всех, схем.

## Три основных шага в Visio

Хорошо, теперь приступим к работе со схемой. Как вы уже видели, существует множество типов схем Visio, среди которых есть организационные диаграммы, схемы сети, рабочие процессы, планы для дома и офиса. Но для создания практических всех схем достаточно трех основных действий:

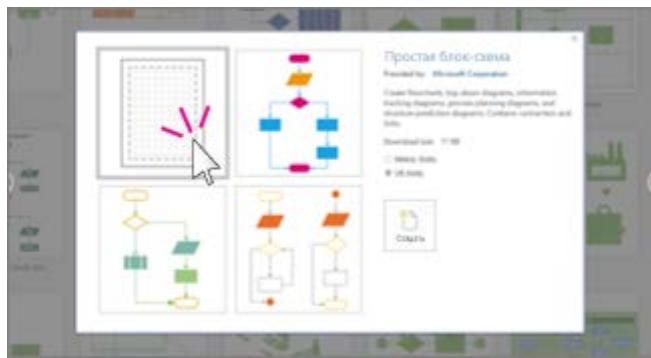
1. Открытие пустого шаблона.
2. Перетаскивание фигур и их соединение.
3. Добавление текста в фигуры.

Далее мы покажем, как выполнять эти три основных действия для создания простой блок-схемы.

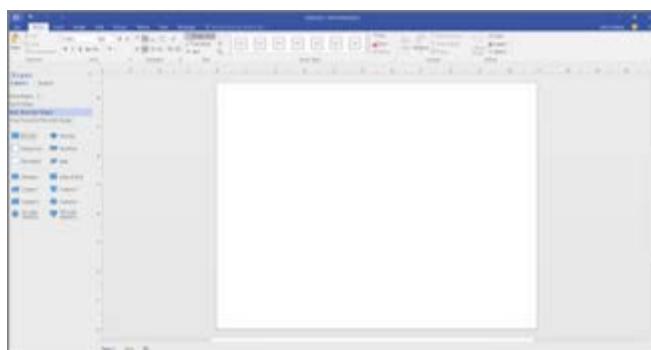
## Шаг 1. Открытие пустого шаблона

В Visio работа часто начинается с пустого шаблона. Вместо этого можно выбрать начальную схему и изменить ее. Но иногда необходимо начать работу с нуля.

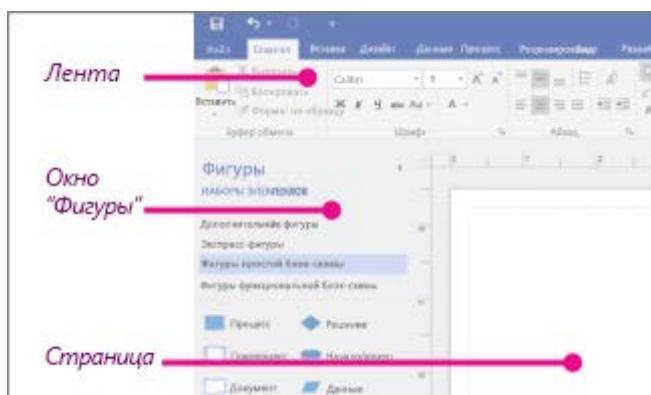
1. Выберите **Файл > Создать > Категории > Блок-схема**.
2. Щелкните **Простая блок-схема**, а затем дважды щелкните пустую схему:



3. Появилась пустая блок-схема, готовая к настройке. Ваш экран будет выглядеть примерно так:



4. В Visio есть три основные области: лента, окно "Фигуры" и сама страница.



На ленте отображаются все вкладки Visio. Здесь вы найдете команды для изменения размера текста, выбора различных инструментов рисования и т. д.

В окне "Фигуры" находятся наборы элементов и фигуры. Мы расскажем о них более подробно позже.

На самой странице можно добавлять фигуры, соединять их и т. д.

**Советы:** Если ваш экран выглядит не так, как на рисунке выше, выполните одно или несколько из следующих действий:

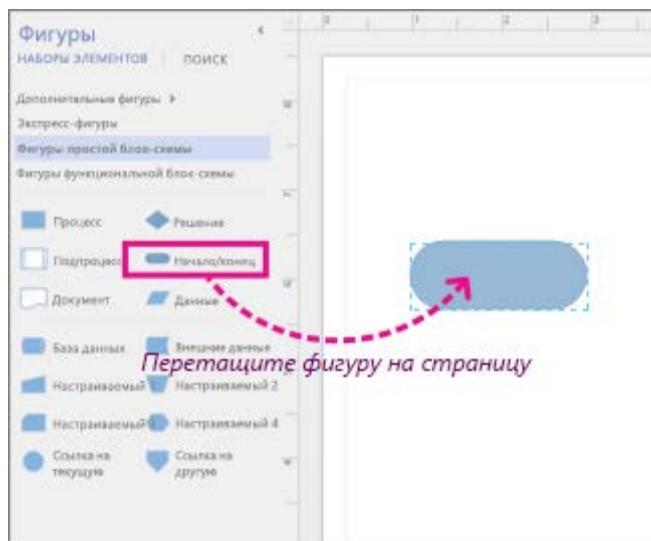
- о Если лента скрыта, дважды щелкните вкладку **Главная** вверху окна.
- о Если вы не видите окно "Фигуры", щелкните стрелку , чтобы развернуть его.
- о Закройте все другие области и окна.

- Разверните окно Visio или измените его размер, чтобы он занимал больше места на экране.
- В меню **Вид** выберите пункт **По размеру окна**.

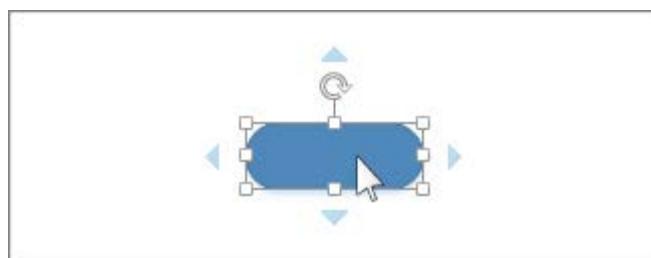
## Шаг 2. Перетаскивание и соединение фигур

Чтобы создать схему, перетащите фигуры из окна "Фигуры", а затем соедините их. Существует несколько способов соединения фигур, но пока мы покажем вам, как использовать стрелки автосоединения. Чуть позже вы узнаете, что это такое.

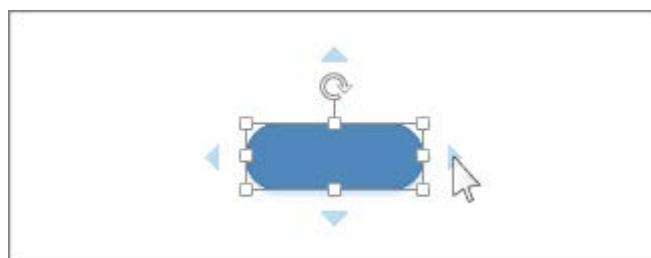
1. Перетащите на страницу документа фигуру **Начало/конец** и отпустите кнопку мыши.



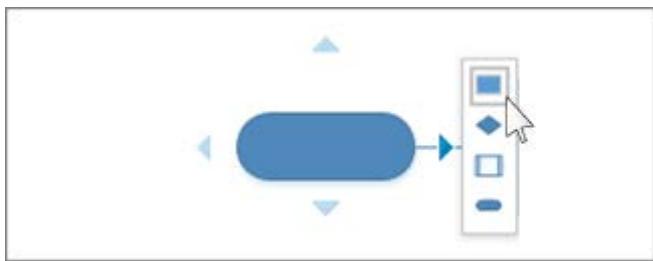
2. Наведите указатель мыши на фигуру, чтобы появились синие стрелки автосоединения.



3. Переместите указатель мыши на синюю стрелку, указывающую на место, куда необходимо поместить вторую фигуру.



4. На мини-панели инструментов щелкните квадратную фигуру **Процесс**.



На схему будет добавлена фигура **Процесс**, которая будет автоматически соединена с фигурой **Начало/конец**.

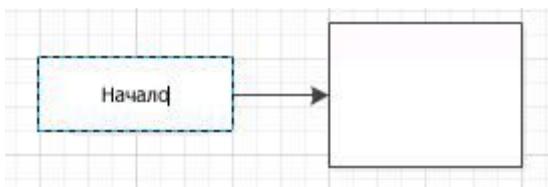
5. Добавьте еще две-три фигуры таким же образом.

#### **Советы:**

- Если необходимая фигура отсутствует на мини-панели инструментов, перетащите ее из окна **Фигуры** на синюю стрелку. Да, именно так — **на синую стрелку автосоединения**. Новая фигура будет соединена с первой фигурой так же, как и при ее выборе на мини-панели.
- Используйте стрелки автосоединения также для того, чтобы соединить две фигуры, которые уже имеются в чертеже. Перетащите стрелку автосоединения от одной фигуры к другой и отпустите. Таким образом вы соедините одну фигуру с другой.

## **Действие 3. Добавление текста в фигуры.**

1. Щелкните фигуру и начните вводить текст. Для добавления текста к фигуре не нужно дважды щелкать ее; текст добавляется к выбранной фигуре в процессе ввода.



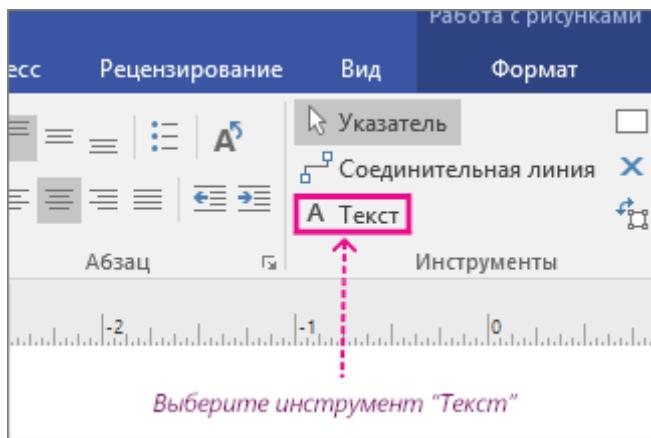
2. По завершении ввода текста щелкните в пустом месте страницы документа или нажмите клавишу ESC.

Вы можете добавить текст практически к любому объекту, даже к соединительной линии, просто выделив объект и начав вводить текст.

В Visio можно использовать и другие функции. Поэкспериментируйте с фигурами, соединительными линиями и текстом. Затем перейдите к следующему разделу.

## **Добавление текста на страницу**

1. Откройте вкладку **Главная** и нажмите кнопку **Текст**.



2. Щелкните пустую область на странице.

Появится текстовое поле.

3. Введите текст, который требуется добавить на страницу.



4. Нажмите ESC.
5. На вкладке **Главная** выберите **Указатель**, чтобы отменить использование инструмента "Текст".

Текстовое поле теперь будет иметь свойства других фигур. Можно выделить это поле и изменить текст, перетащить поле в другую часть страницы или отформатировать текст с помощью групп Шрифт и Абзац на вкладке Главная.

## Применение фона к документу

1. Нажмите **Конструктор**, а затем — **Подложки**.
2. Выберите фон.

В схему будет добавлена новая фоновая страница (**Фон Visio-1**), которую вы можете увидеть среди закладок страниц в нижней части области построения схемы.



## Добавление рамки и заголовка

1. Нажмите Конструктор > Рамки и заголовки и выберите подходящий стиль заголовка.
2. Выберите стиль заголовка.

Заголовок и рамка будут добавлены на страницу фонового рисунка.

3. В нижней части области построения схемы щелкните вкладку **Фон Visio-1**.
4. Щелкните текст заголовка.

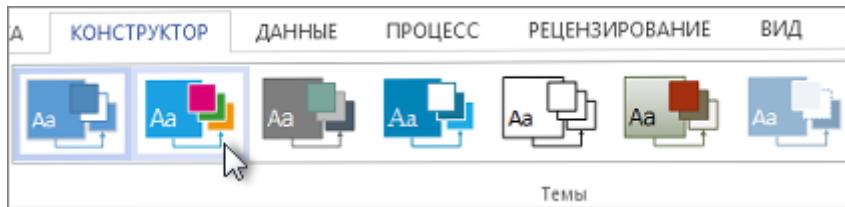
Будет выделена вся рамка, но после начала ввода текста будет изменен заголовок.

5. Введите заголовок, а затем нажмите клавишу ESC.
6. Чтобы отредактировать другой текст в рамке, нужно сначала выделить всю рамку целиком, а затем щелкнуть текст, который требуется изменить, и начать ввод. Возможно, потребуется нажать несколько раз, чтобы выделить текст.
7. Щелкните **Страница-1** в нижнем правом углу страницы, чтобы вернуться к документу.

## Применение темы к схеме или документу

1. На вкладке Конструктор попробуйте навести указатель мыши на разные темы.

При этом каждая из них будет временно применяться для предварительного просмотра.



2. Чтобы просмотреть другие доступные темы, нажмите кнопку **Дополнительные параметры** .
3. Щелкните нужную тему, чтобы применить ее к схеме.

## Сохранение схемы

Если вы уже сохраняли эту схему, просто нажмите кнопку **Сохранить** на панели быстрого доступа.



Если вы хотите сохранить схему в другом расположении или под другим именем, используйте команду "Сохранить как".

### **Сохранение схемы в другом расположении**

1. Нажмите **Файл**, а затем — **Сохранить как**.
2. В диалоговом окне **Сохранить как** выберите расположение для сохранения схемы.

Это может быть компьютер, расположение в сети или в OneDrive. Затем выберите папку для сохранения или нажмите кнопку **Обзор**, чтобы найти ее.

3. Если хотите, в диалоговом окне **Сохранить как** переименуйте схему в поле **Имя файла**.
4. Нажмите **Сохранить**.

### **Сохранение схемы в виде файла изображения, PDF-файла, а также в других форматах**

1. Нажмите **Файл**, а затем — **Сохранить как**.
2. В диалоговом окне **Сохранить как** выберите расположение для сохранения схемы.
3. В диалоговом окне **Сохранить как** откройте раскрывающийся список **Тип файла**.
4. Выберите нужный формат, например один из следующих:
  - **обычный файл изображения**, в том числе в форматах JPG, PNG и BMP;
  - **веб-страница** в формате HTM (файлы изображений и другие файлы ресурсов сохраняются во вложенной папке в том же расположении, в котором сохранен HTM-файл);
  - **PDF- или XPS-файл** ;
  - **чертеж AutoCAD** в формате DWG или DXF.

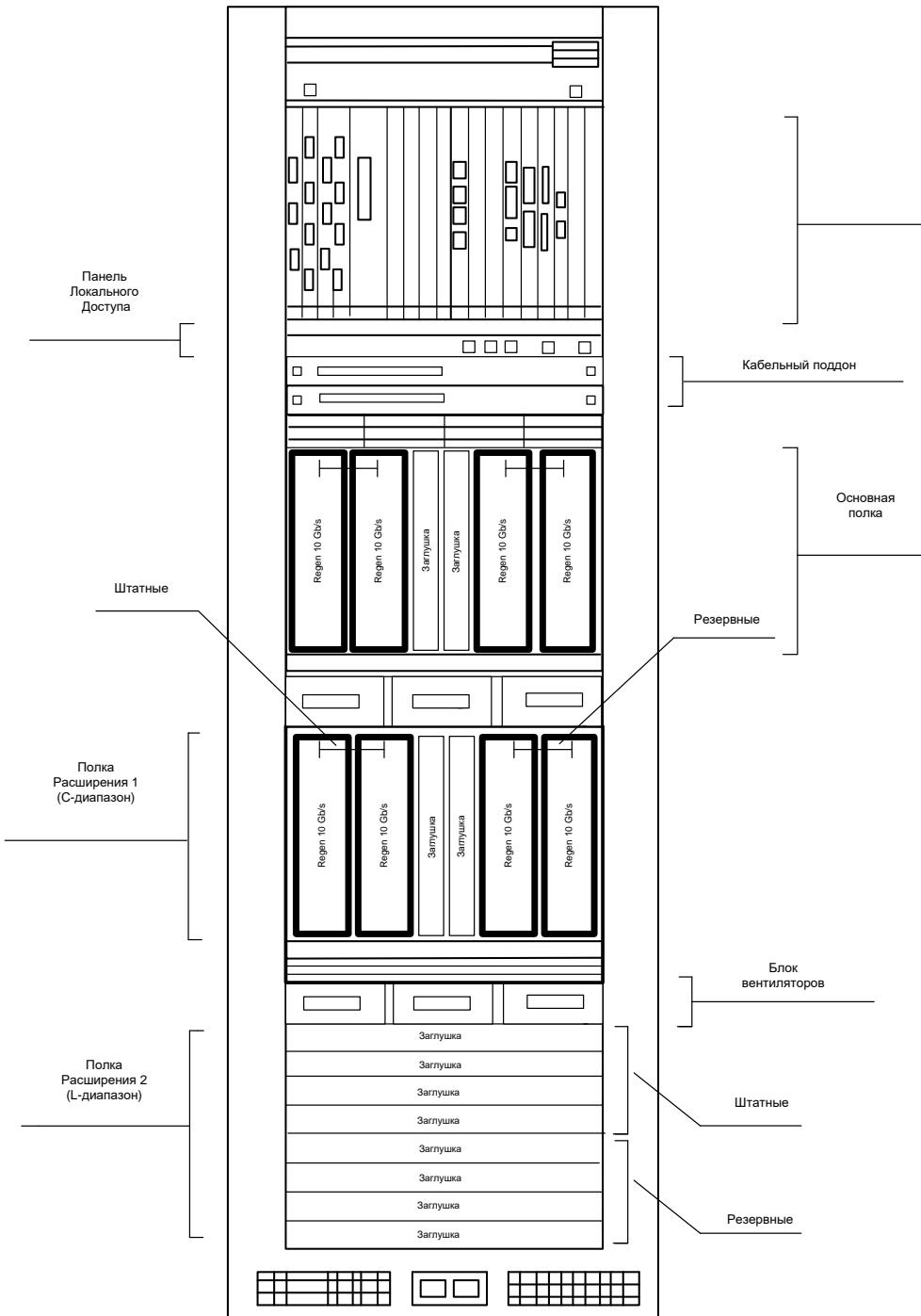
## **Печать схемы или документа**

Распечатать схему или документ в Visio так же просто, как и в других приложениях Office.

### **Печать схемы или документа**

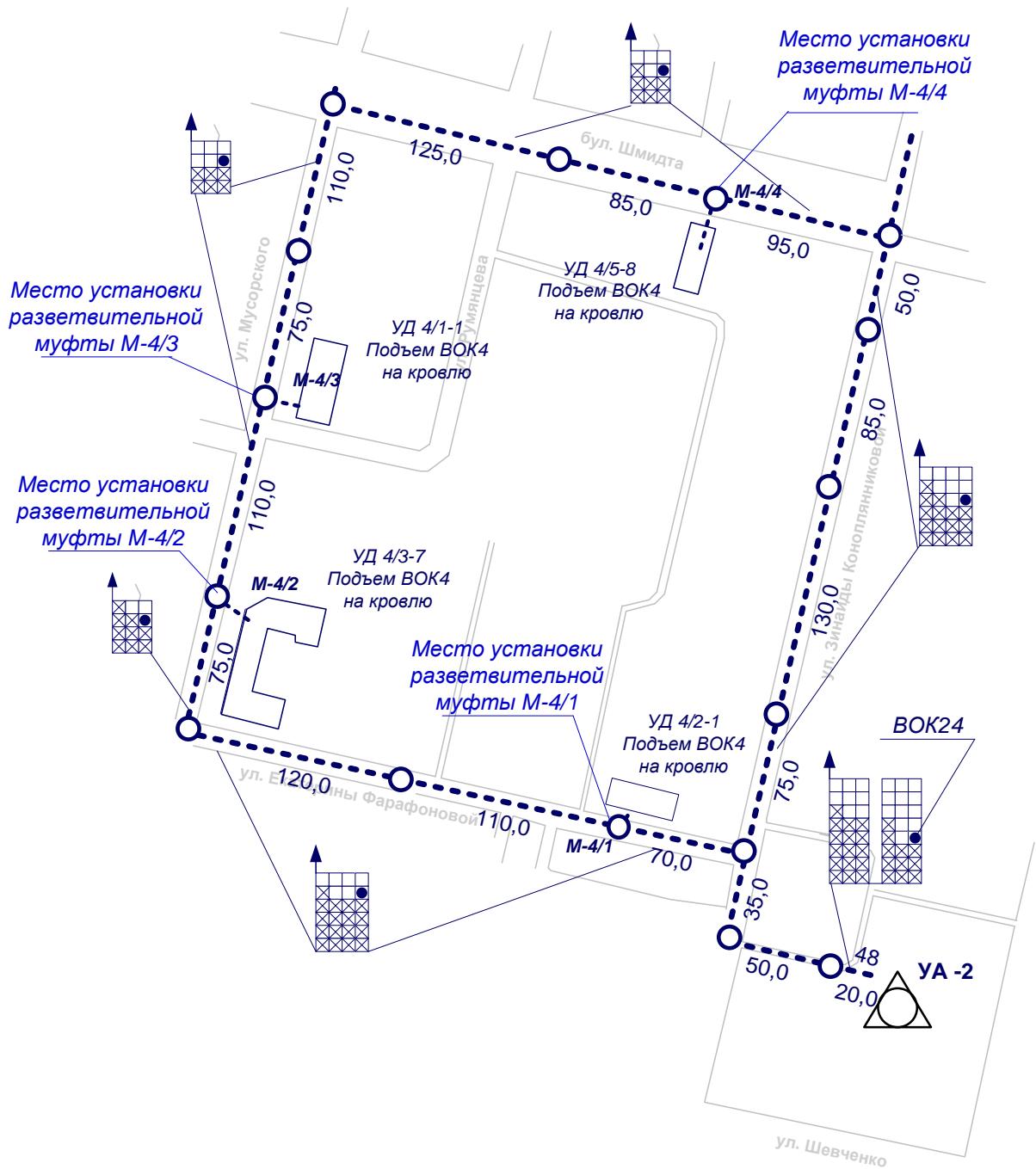
1. Откройте вкладку **Файл**.
2. На боковой панели выберите пункт **Печать**.
3. Укажите настройки принтера, а также другие параметры и нажмите кнопку **Печать**.

Пример выполнения схемы размещения оборудования в телекоммуникационном шкафу

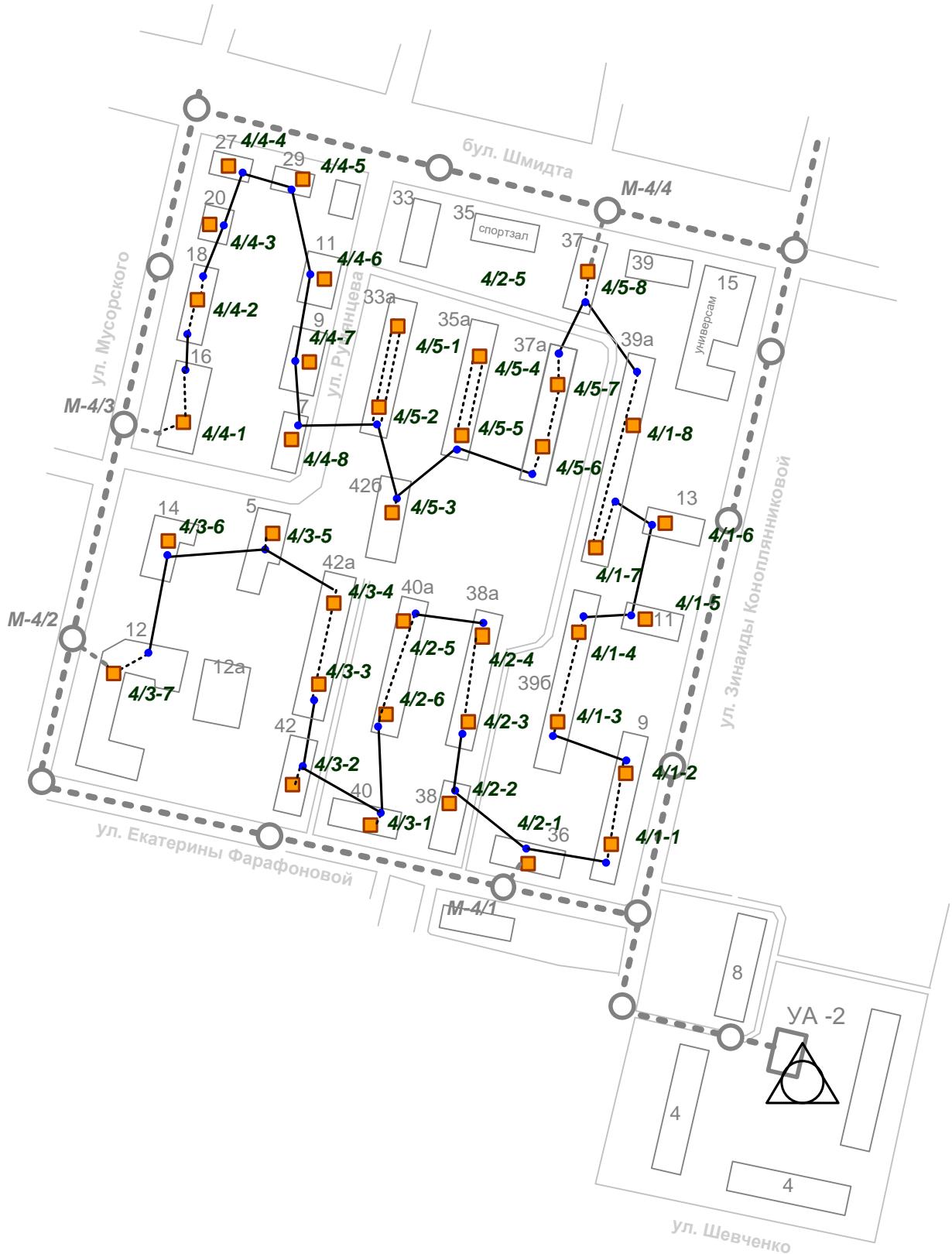


Стойка Регенератора

Пример выполнения схемы кабельной сети



Пример выполнения схемы кабельной сети



# **Лабораторная работа №4 Средства разработки приложений**

## **Цель работы**

Познакомиться со средствами разработки приложений

## **Задание на лабораторную работу**

Получить индивидуальное задание у преподавателя.

Ознакомиться с интерфейсом и методами работы в интегрированной среде разработки.

Создать проект учебной программы.

Разработать интерфейс учебной программы

Оформить отчет по лабораторной работе.

## **Содержание отчета**

цель работы,

исходные данные, индивидуальное задание,

алгоритм разработанного приложения,

созданный проект приложения,

снимок экрана (Принтскрин разработанной программы)

## **Теоретические сведения.**

На сегодняшний день Qt широко используется разработчиками во всем мире. Библиотека Qt доступна в исходных текстах, сопровождается хорошо проработанной документацией, предоставляет богатые возможности для разработки графического интерфейса. В комплект Qt входит интегрированная среда разработки, включающая редактор кода, интерактивный отладчик, редактор графического интерфейса, справочную систему. Благодаря этому Qt набирает все большую популярность.

## **Интерфейс Qt Creator. Создание проекта**

Создайте новый проект. Для создания нового проекта нажмите кнопку «Новый проект» (рис. 3) и задайте параметры нового проекта. Необходимо создать приложение с графическим интерфейсом пользователя, поэтому в появившемся окне «Новый проект» выберите шаблон «Приложение Qt Widgets» и нажмите кнопку «Выбрать...».

В следующем появившемся окне, показанном на рис. 4, задайте название проекта, например «*first*». Укажите путь для размещения проекта (можно оставить по умолчанию). В пути размещения следует использовать только латинские символы. Использование кириллицы при задании пути размещения проекта приводит к ошибке компиляции.

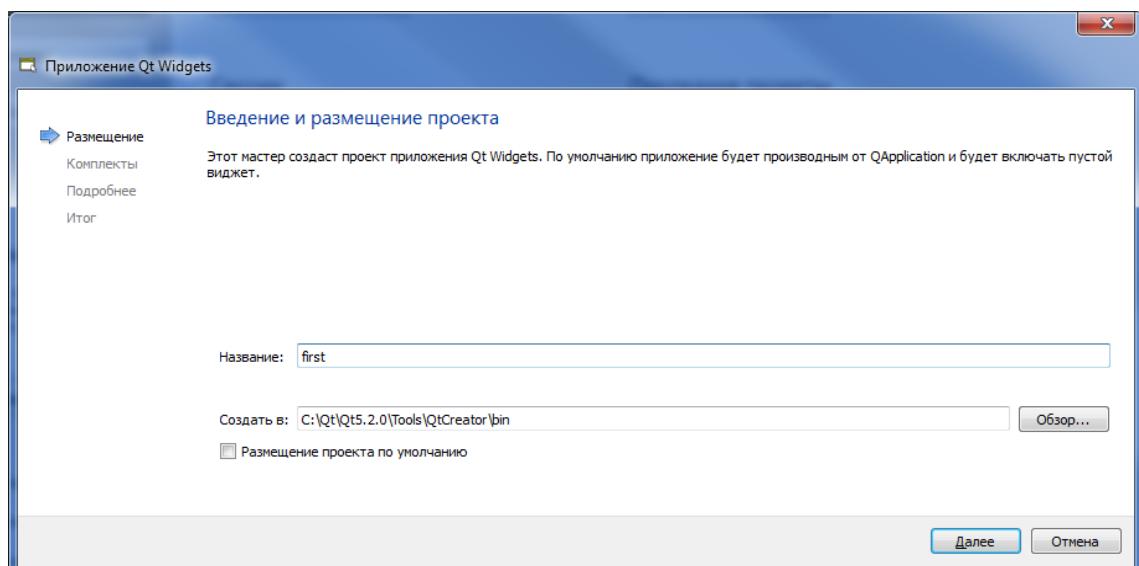


Рис. 4. Задание ввода имени и размещения проекта

Остальные параметры, предлагаемые по умолчанию, оставьте без изменений, несколько раз нажмите кнопку «Далее» и затем нажмите кнопку «Завершить». В результате должно открыться окно среды разработки, показанное на рис. 5.

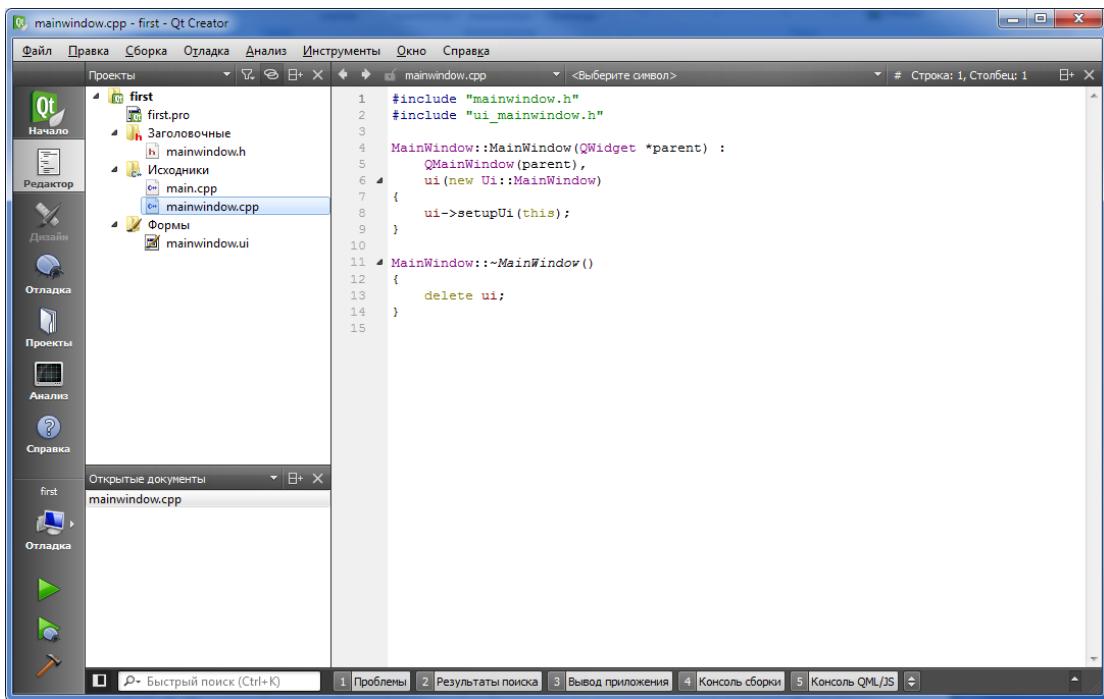


Рис. 5. Окно интегрированной среды разработки. Первый проект

Рассмотрим компоненты графического интерфейса среды разработки:

- 1) в самом верху расположено главное меню, свойственное многим приложениям Windows;
- 2) с левой стороны находится полоса смены режимов работы: редактирование, отладка, проекты, справка, а также кнопки компилирования и запуска;
- 3) правее расположена боковая панель, в которой перечислены файлы, составляющие проект:

файл проекта: `first.pro`;

заголовочный файл: `mainwindow.h`;

исполняемые файлы: `main.cpp`, `mainwindow.cpp`;

файл формы: `mainwindow.ui`.

Если навести мышку на имя файла, то всплывающая подсказка покажет путь, где сохранен файл. Двойной клик мышкой открывает файл для редактирования;

4) самое большое окно среды разработки – окно редактора. В нем можно редактировать код программы;

5) в самом низу располагается окно вывода приложения, в него будут выводиться сообщения о ходе компиляции и сообщения об ошибках (если будут ошибки).

Сохраните проект. Для этого в главном меню выберете команду (Файл) => (Сохранить все).

Запустите созданную программу. Для этого нажмите кнопку с зеленым треугольником.

Сейчас программа представляет собой пустое окно «MainWindow». В дальнейшем мы будем добавлять элементы интерфейса и развивать только что созданный проект. Сейчас его можно закрыть. Продолжить работу над проектом можно, запустив Qt Creator и выбрав ссылку «first» в списке «Последние проекты».

Итак, мы успешно установили Qt и создали проект (приложение, состоящее из одной формы), запустили его и убедились, что все необходимое установлено правильно.

### **3.2. Добавление виджетов на форму и редактирование их свойств**

Усовершенствуем главное окно учебной программы. Для этого разместим на форме элементы управления – виджеты (Widget) и визуальные объекты – кнопки и поля редактирования.

Используя боковую панель, откройте файл mainwindow.ui в режиме «Дизайн» (рис. 6).

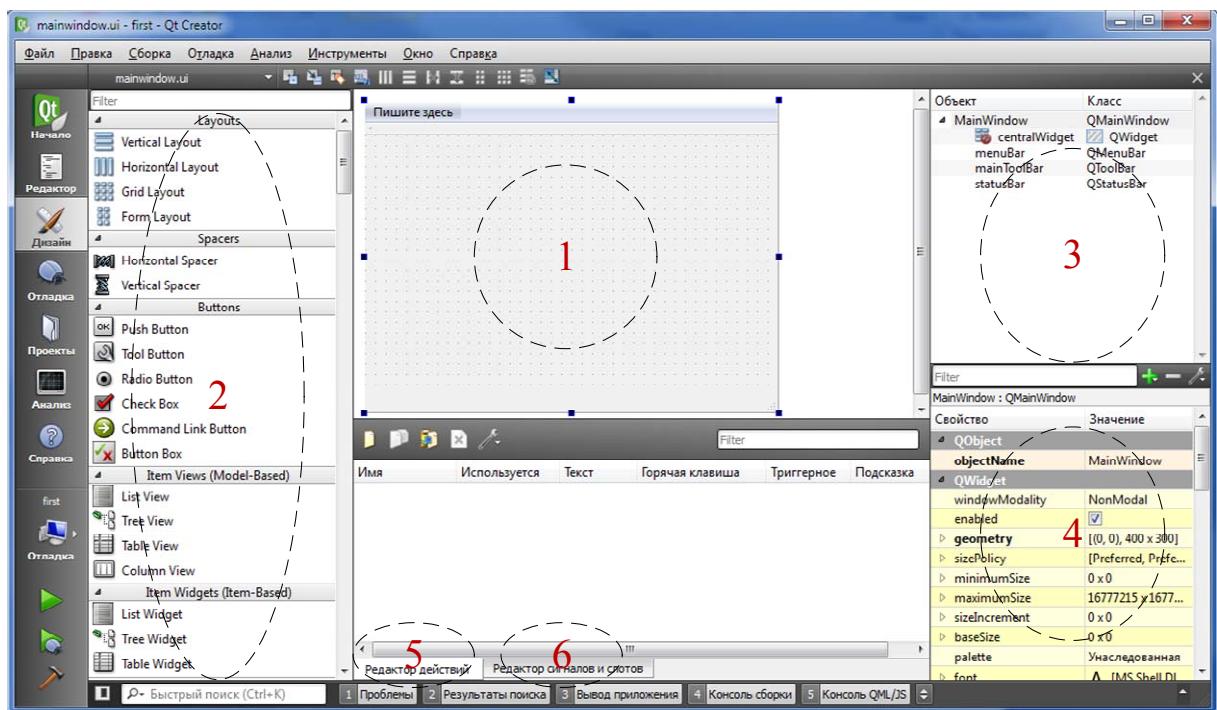


Рис. 6. Разработка интерфейса пользователя

На рис. 6 пунктиром обозначены:

- 1) форма, расположенная в центре окна;
- 2) панель виджетов (Widget Box);
- 3) инспектор объектов (Object Inspector);
- 4) редактор свойств (Property Editor);
- 5) редактор действий;
- 6) редактор сигналов и слотов.

На заготовке формы уже размещены элементы: Меню (menuBar) и Панель инструментов (mainToolBar). Пусть они остаются без изменений.

Разместите на форме две кнопки (Push Button). Для размещения виджетов на форме следует перетащить их мышкой на форму из панели виджетов.

Отредактируйте надписи на кнопках и их имена. Для этого выберите первую из кнопок мышкой на форме (или в инспекторе объектов). В редакторе свойств найдите свойство *text* и измените его значение с *PushButton* на *Очистить*. Измените имя первой кнопки, для этого свойству *objectName* задайте значение *pushButtonClear*.

Аналогично задайте для второй кнопки: свойству *text* – значение *Копировать*, свойству *objectName* – значение *pushButtonCopy*.

Добавьте еще два виджета Line Edit – Поля редактирования. Для первого поля редактирования задайте имя *lineEdit\_1*, свойству *text* задайте значение *источник*. Свойству *text* второго поля редактирования с именем *lineEdit\_2* задайте значение *получатель*.

После выполнения всех манипуляций окно программы примет вид, аналогичный приведенному на рис. 7.

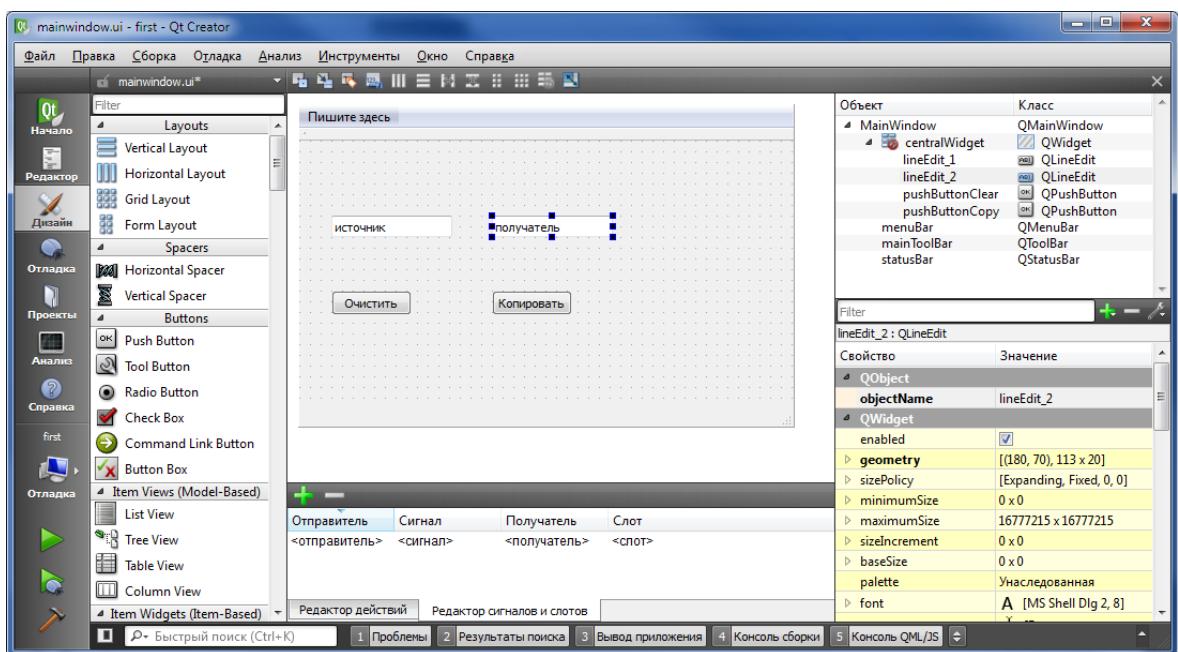


Рис. 7. Разработка интерфейса пользователя

Проверьте правильность выполнения, запустите программу. Перед запуском программы Qt Creator предлагает сохранить изменения в файлах проекта, показывая окно «Сохранение изменений». Сохраните проект, нажав на кнопку «Сохранить все».

Пока программа не выполняет полезных действий, но мы уже познакомились с виджетами, научились изменять их свойства в редакторе свойств и разработали вполне достойный графический интерфейс с кнопками и полями редактирования.

## **Перечень основной и дополнительной литературы**

Основная литература:

1. Информатика. Базовый курс [Текст] : учеб. пособие для вузов / ред. С. В. Симонович ; рец. С. В. Калин. - СПб. : Питер, 2001. - 639 с. : ил. - Библиогр.: с. 620-622. - Алф. указ.: с. 623-638. - ISBN 5-8046-0134-2 (в пер.) : 107.25 р.
2. Информатика. Базовый курс [Текст] : учеб. пособие для втузов / Под ред. С. В. Симоновича. - СПб. : Питер, 2002. - 640 с. : ил. - (Учебник для вузов). - Библиогр.: с. 620-622. - ISBN 5-8046-0134-2 : 107.25 р.
3. Информатика. Базовый курс [Текст] : учеб. пособие для втузов / Под ред. С. В. Симоновича. - СПб. : Питер, 2003. - 640 с. : ил. - (Учебник для вузов). - Библиогр.: с. 620-622. - ISBN 5-8046-0134-2 : 278.40 р., 107.25 р.
4. Информатика. Базовый курс [Текст] : учеб. пособие для втузов / под ред. С. В. Симоновича. - 2-е изд. - СПб. : Питер, 2005. - 640 с. : ил. - (Учебник для вузов). - Библиогр. : с. 631-632. - ISBN 5-94723-752-2 : 300.00 р.
5. Системное программное обеспечение [Текст] : учеб. пособие для вузов / М. А. Лейкин [и др.] ; рец. Ю. М. Смирнов ; М-во связи и массовых коммуникаций Рос. Федерации, Федер. агентство связи, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "С.-Петербург. гос. ун-т телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича", М-во образования и науки Рос. Федерации, Воронеж. гос. техн. ун-т, Курский гос. техн. ун-т. - СПб. : СПбГУТ, 2010. - 140 с. : ил. - Библиогр. : с. 138-139. - ISBN 978-5-89160-055-3 : 170.00 р., 400.00 р.
6. Информатика. Базовый курс [Текст] : учеб. пособие для втузов / ред. С. В. Симонович ; рец. С. В. Калин. - 2-е изд. - СПб. : Питер, 2007. - 639 с. : ил. - (Учебник для вузов). - Библиогр.: с. 631-632. - Алф. указ.: с. 633-639. - ISBN 5-94723-752-0 (в пер.) : 223.00 р., 300.00 р.
7. Красов, А. В. Компьютерное обеспечение инженерных задач [Текст] : метод. указ. к лаб. работам / А. В. Красов, А. С. Верещагин ; рец. С. Е. Душин ; Федер. агентство связи, Федер. гос. образовательное бюджет. учреждение высш. проф. образования "С.-Петербург. гос. ун-т телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-

- Бруевича". - СПб. : СПбГУТ, 2011. - 23 с. : ил. - Библиогр.: с.19. - (в обл.) : 10.50 р.
8. Информатика. Базовый курс [Текст] : учебник / ред. С. В. Симонович ; рец. С. В. Калин. - 2-е изд. - СПб. : Питер , 2009. - 639 с. : ил. - ISBN 978-5-94723-752-8 : 300.00 р.
  9. Информатика. Базовый курс [Текст] : учебник для вузов / ред. С. В. Симонович. - 3-е изд. - СПб. : Питер, 2011. - 637 с. : ил. - (Учебник для вузов). - ISBN 978-5-4-9-00439-7 : 400.00 р.
  10. Веретехина, С. В. Информационные технологии. Пакеты программного обеспечения общего блока «ИТ-инструментарий» [Электронный ресурс] : учебное пособие / Веретехина С. В. - Москва : Русайнс, 2015. - 44 с. - ISBN 978-5-43-5-0177-2 Книга находится в Премиум-версии ЭБС IPRbooks.
  11. Хрящев, В. Моделирование и создание чертежей в системе AutoCAD [Электронный ресурс] / В. Хрящев, Г. Шипова. - Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2015. - 224 с. : ил. - ISBN 978-5-9775-2001-0 : Б. ц.
  12. Павловская, Т. А. С/C++. Процедурное и объектно-ориентированное программирование. Учебник для вузов. Стандарт 3-го поколения [Электронный ресурс] / Т.А. Павловская. - Санкт-Петербург : Питер, 2015. - 496 с. : ил. - ISBN 978-5-496-00109-0 : Б. ц.
  13. Информатика. Базовый курс [Текст] : учебник / ред. С. В. Симонович ; рец. С. В. Калин. - 2-е изд. - М. [и др.] : Питер, 2005. - 640 с. : ил. - (Учебник для вузов). - Библиогр.: с. 631-632. - Алф. указ.: с. 633-639. - ISBN 5-94723-752-0 : 300.00 р.
  14. Информатика. Базовый курс [Текст] : учебник / ред. С. В. Симонович ; рец. С. В. Калин. - 2-е изд. - М. [и др.] : Питер, 2004. - 640 с. : ил. - (Учебник для вузов). - Библиогр.: с. 631-632. - Алф. указ.: с. 633-639. - ISBN 5-94723-752- 0 : 300.00 р.

## 12.2. Дополнительная литература:

1. Романец, Юрий Васильевич. Защита информации в компьютерных системах и сетях [Текст] : производственно-практическое издание / Ю. В. Романец, П. А. Тимофеев, В. Ф. Шаньгин ; ред. В. Ф. Шаньгин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 2001. - 376 с. : ил. - ISBN 5-256-01518-4 : 70.00 р., 175.05 р.
2. Крекрафт, Д. Аналоговая электроника. Схемы, системы, обработка сигнала [Текст] : пер. с англ. / Д. Крекрафт, С. Джерджли ; пер. А. А. Кузьмичева ; ред. А. А. Лапин. - М. : Техносфера, 2005. - 360 с. : ил. - (Мир электроники). VII<>14). - Библиогр. : с. 358-359. - ISBN 5-94836-057-1. - ISBN 0-7506-5095-8 : 225.69 р.
3. Бузюков, Л. Б. Современные методы программирования на языках С и С++ [Текст] : учеб. пособие / Л. Б. Бузюков, О. Б. Петрова ; рец.: Э. А. Акчурин, А. Р. Лисс. - СПб. : Линк, 2008. - 287 с. : ил. - Библиогр.: с. 286-287. - ISBN 978-5-985-2-013-7 (в пер.) : 293.70 р.
4. Воронцова, Ирина Олеговна. Программирование на языке высокого уровня С/С++ [Текст] : учеб. пособие / И. О. Воронцова, Л. А. Груздева, Т. В. Губанова ; рец. А. И. Солонина ; Федер. агентство связи, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "С.-Петерб. гос. ун-т телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича". - СПб. : СПбГУТ, 2010. - 111 с. : ил. - Библиогр.: с. 111. - (в обл.) : 109.16 р.
5. Большаков, В. П. Основы 3D-моделирования. Изучаем работу в AutoCAD,

КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor [Текст] : учебный курс / В. П. Большаков, А. Л. Бочков ; рец. Л. А. Голдобина. - СПб. : Питер , 2013. - 303 с. : ил. - Библиогр.: с. 300. - ISBN 978-5-496-00041-3 (в обл.) : 352.50 р.

6. Биллиг, В. А. Основы объектного программирования на C# (C# 3.0, Visual Studio 2008) [Электронный ресурс] : учебное пособие / Биллиг В. А. - Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2010. - 582 с. - ISBN 978-5-9963-0259-8 : Б. ц. Книга находится в Премиум-версии ЭБС IPRbooks.
7. Латышев, П. Н. Каталог САПР [Текст] : программы и производители. 2014-2015 / Латышев П. Н. - Москва : СОЛОН-ПРЕСС, 2013. - 694 с. - ISBN 978-5-91359-142-5 : Б. ц. Книга находится в Премиум-версии ЭБС IPRbooks.
8. Кирьянов, Д. Самоучитель Mathcad 11 [Электронный ресурс] / Д. Кирьянов. - Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2014. - 560 с. : ил. - ISBN 978-5-9775-1977-9 : Б. ц.
9. Руссинович, М. Внутреннее устройство Microsoft Windows. 6-е изд. Основные подсистемы ОС [Электронный ресурс] / М. Руссинович, Д. . Соломон, Алекс Ионеску. - Санкт-Петербург : Питер, 2014. - 672 с. : ил. - ISBN 978-5-496-00791-7 : Б. ц.
10. Шлее, М. Qt 5.3. Профессиональное программирование на C++ [Электронный ресурс] / М. Шлее. - Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2015. - 928 с. : ил. - ISBN 978-5-9775-3346-1 : Б. ц.
11. Иванова, Н. Ю. Системное и прикладное программное обеспечение [Электронный ресурс] : учебное пособие / Иванова Н. Ю. - Москва : Прометей, 2011. - 202 с. - ISBN 978-5-4263-0078-1 : Б. ц. Книга находится в Премиум-версии ЭБС IPRbooks.
12. Дюбов, Андрей Сергеевич. Компьютерное обеспечение расчетно-проектной и экспериментально-исследовательской деятельности [Текст] : учебно-методическое пособие по выполнению курсовой работы / А. С. Дюбов ; рец. И. В. Гришин ; Федер. агентство связи, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича". - СПб. : СПбГУТ, 2017. - 31 с. : ил. - 493.42 р.