

2017

Глава 4 Модульное программирование

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Факультет Информатика и системы
управления

Кафедра Компьютерные системы и сети

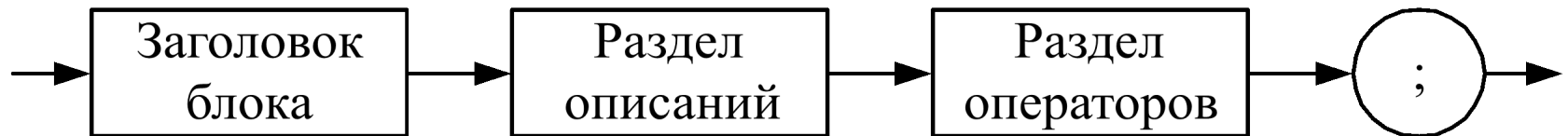
Лектор: д.т.н., проф.

Иванова Галина Сергеевна 1

4.1 Процедуры и функции

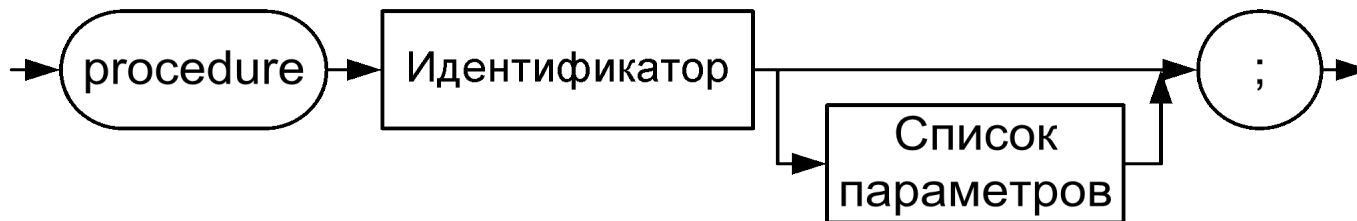
Процедуры и функции – самостоятельные фрагменты программы, соответствующим образом оформленные и вызываемые по имени (программные блоки).

Программный блок:



Заголовки процедуры и функции

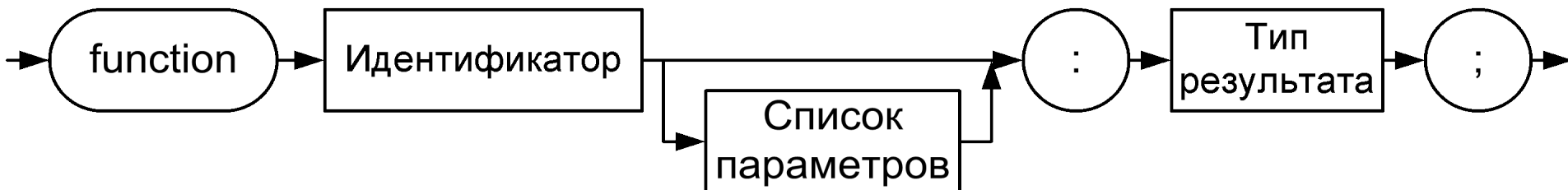
Процедура:



Пример:

```
Procedure RRR (a:integer;b:real) ;
```

Функция:



Пример:

```
Function F23 (a:integer;b:real) :boolean;
```

Локальные и глобальные переменные.

Передача данных в подпрограмму

Классы переменных	Время жизни	Доступность
Глобальные – объявленные в основной программе	От запуска до завершения программы	Из любого места программы, включая подпрограммы*
Локальные – объявленные в подпрограмме	От вызова подпрограммы до возврата управления	Из подпрограммы и подпрограмм, вызываемых из нее*

* – при отсутствии перекрытия имен

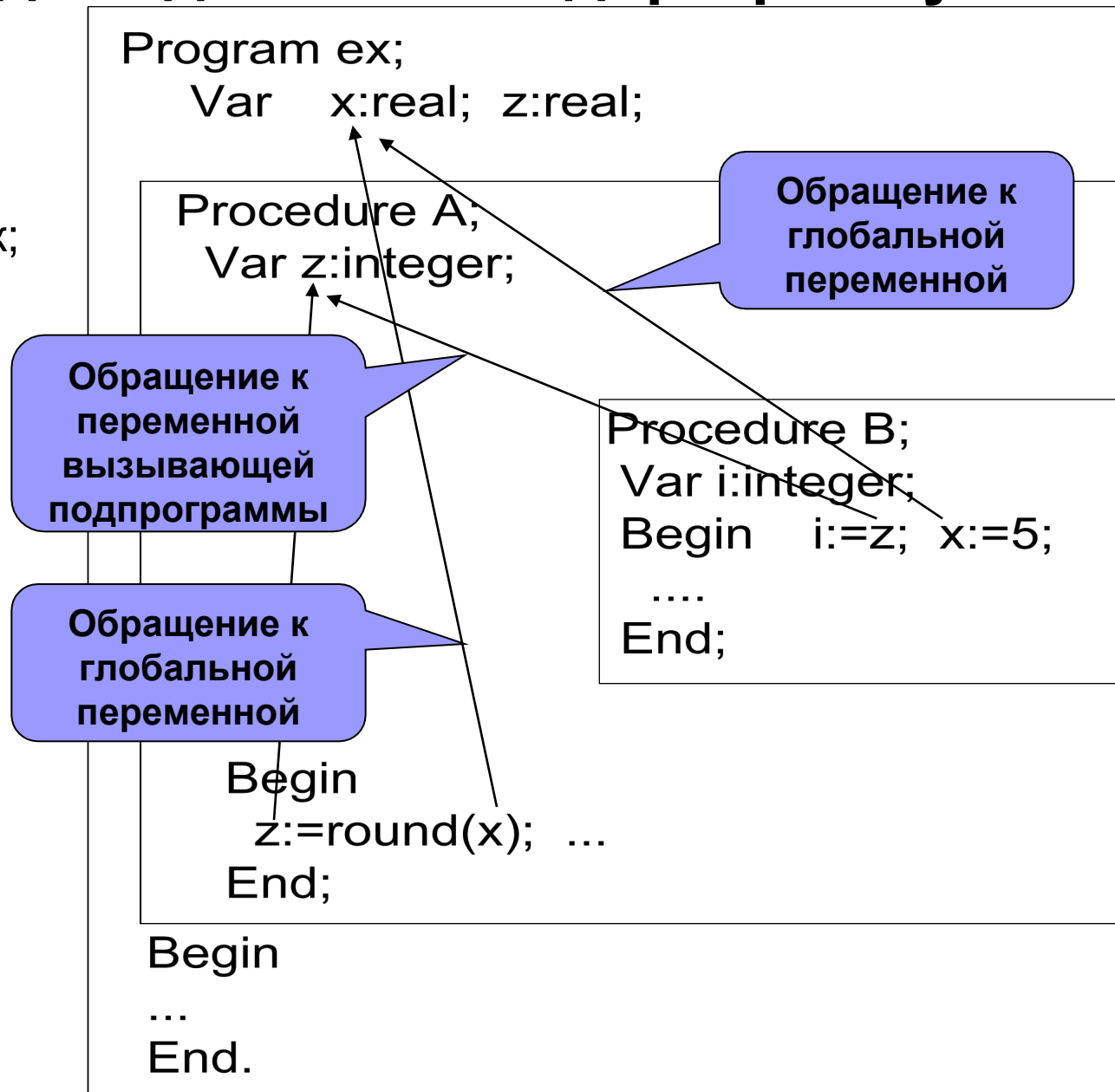
Подпрограмма может получать данные из основной программы:

- а) **неявно** – с использованием свойства доступности глобальных переменных;
- б) **явно** – через параметры.

Неявная передача данных в подпрограмму

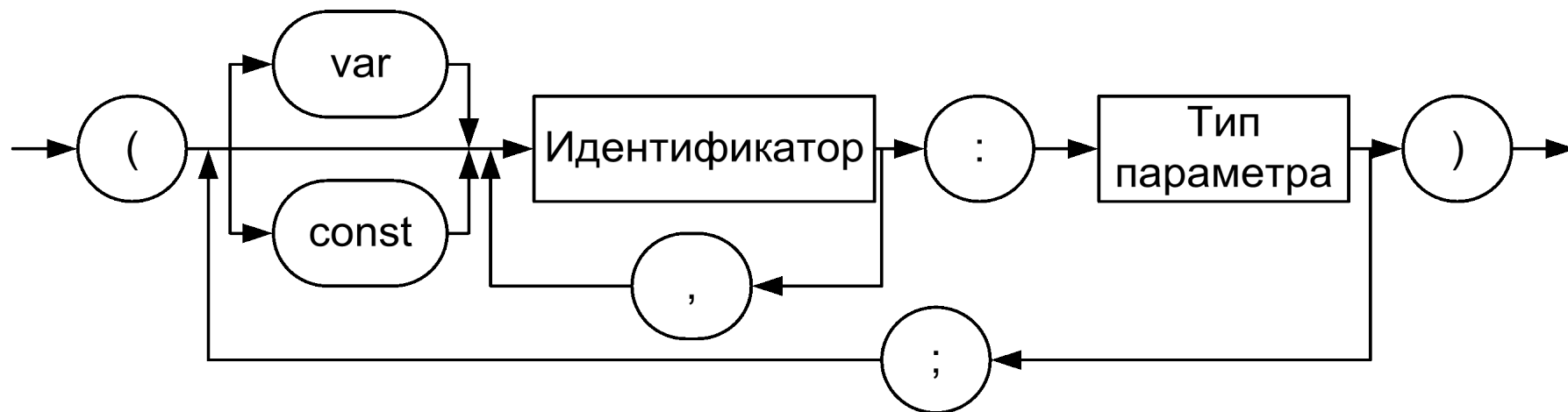
Неявная передача:

- 1) приводит к большому количеству ошибок;
- 2) жестко связывает подпрограмму и данные.



Передача данных через параметры

Список параметров описывается в заголовке:



Параметры, описанные в заголовке – *формальные*.

При вызове подпрограммы необходимо определить *фактические* значения этих параметров – аргументы (константы и переменные).

Формальные и фактические параметры должны соответствовать по количеству, типу и порядку:

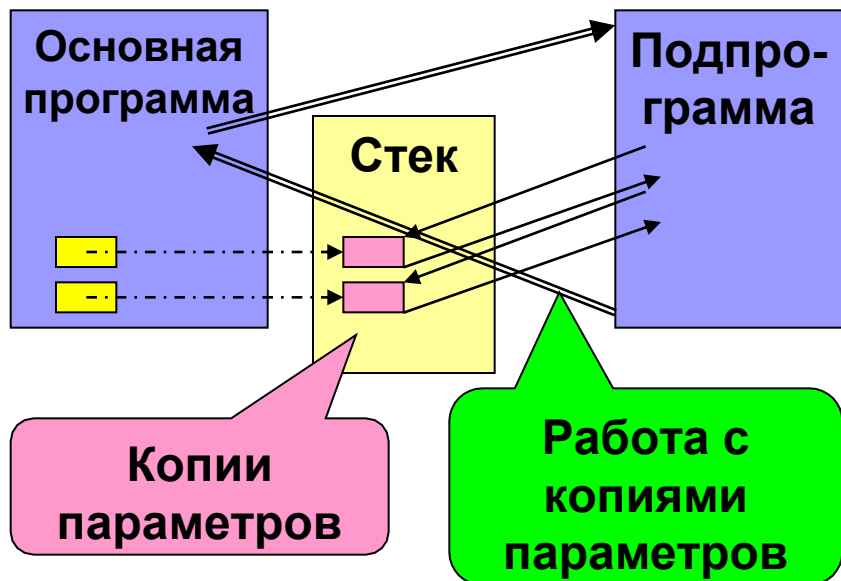
```
function proc(a:integer; b:single):byte; ...
```

```
n:= proc(5,2.1);
```



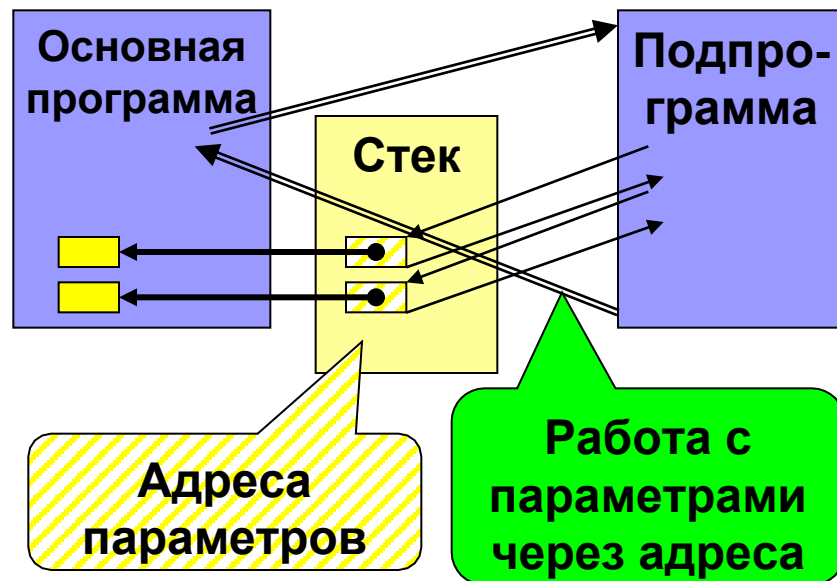
Способы передачи параметров

Передача по значению



Параметры - **значения** – в подпрограмму передаются **копии фактических параметров**, и никакие изменения этих копий не возвращаются в вызывающую программу.

Передача по ссылке



Параметры - **переменные** – в подпрограмму передаются **адреса фактических параметров**, соответственно все изменения этих параметров в подпрограмме происходят с переменными основной программы.

Способы передачи параметров (2)

- **Параметры-значения** при описании подпрограммы не помечаются, например:

```
function Beta(x:single; n:byte):integer; .
```

- **Параметры-переменные** при описании подпрограммы помечаются служебным словом `var`, например:

```
function Alpha(x:single; Var n:byte):integer; .
```

Ограничение: в качестве фактических значений параметров-переменных **нельзя использовать литералы**:

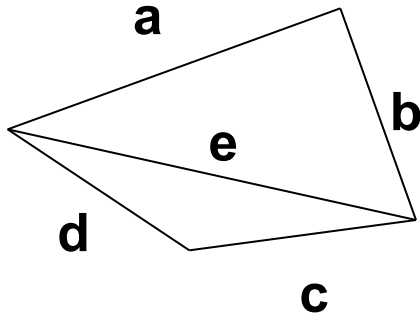
```
Alpha(2.5, 5); // ошибка!
```

правильно: `n:=5; Alpha(2.5, n);`

- **Параметры-константы** – в подпрограмму, так же как и в случае параметров-переменных, передаются **адреса фактических параметров**, но при попытке изменить значение параметра компилятор выдает сообщение об ошибке; такие параметры при описании подпрограммы помечаются служебным словом `const`, например:

```
function Alpha(const x:single; n:byte); .
```


Определение площади четырехугольника



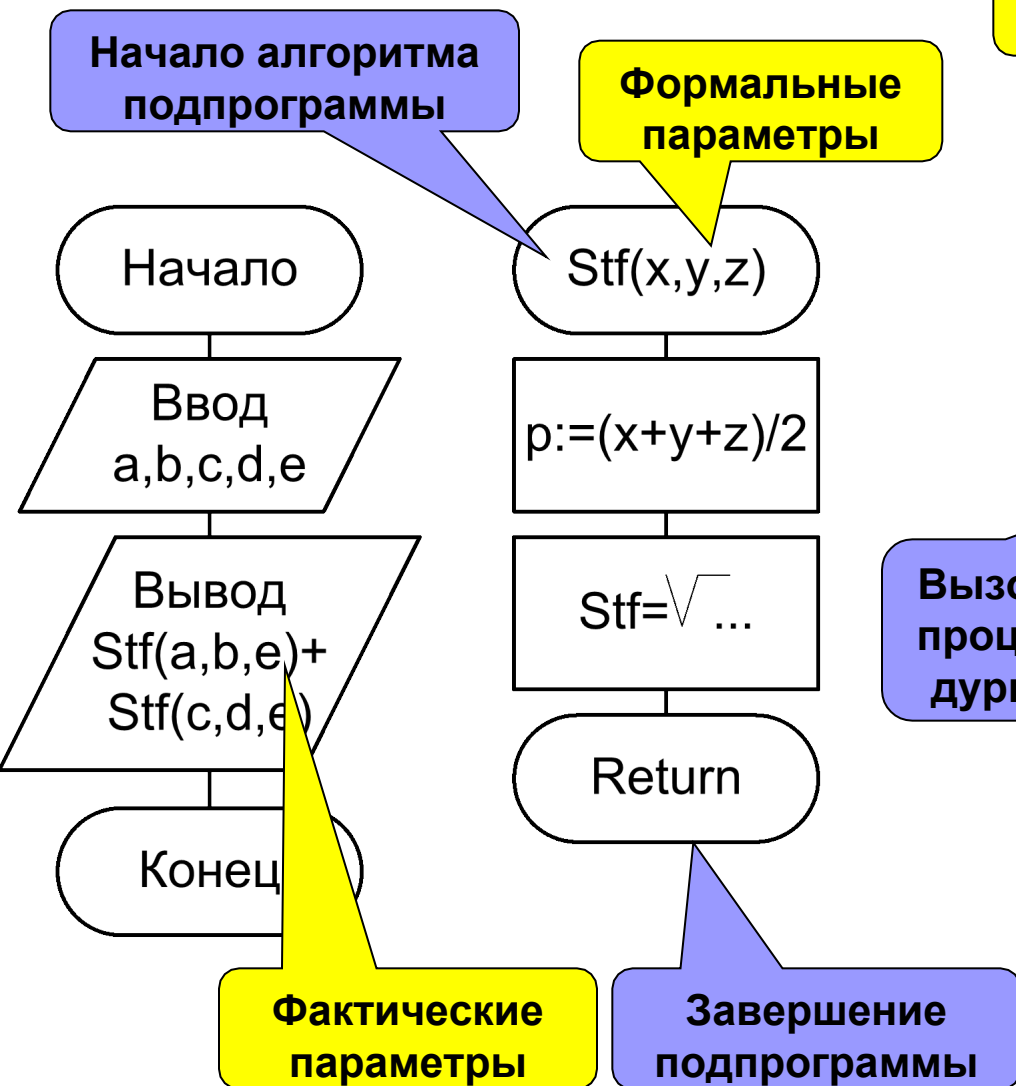
Площадь четырехугольника определяем как сумму площадей треугольников.

Площадь треугольника определяем по формуле Герона.

В качестве подпрограммы реализуем вычисление площади треугольника, поскольку эта операция выполняется два раза с разными параметрами.

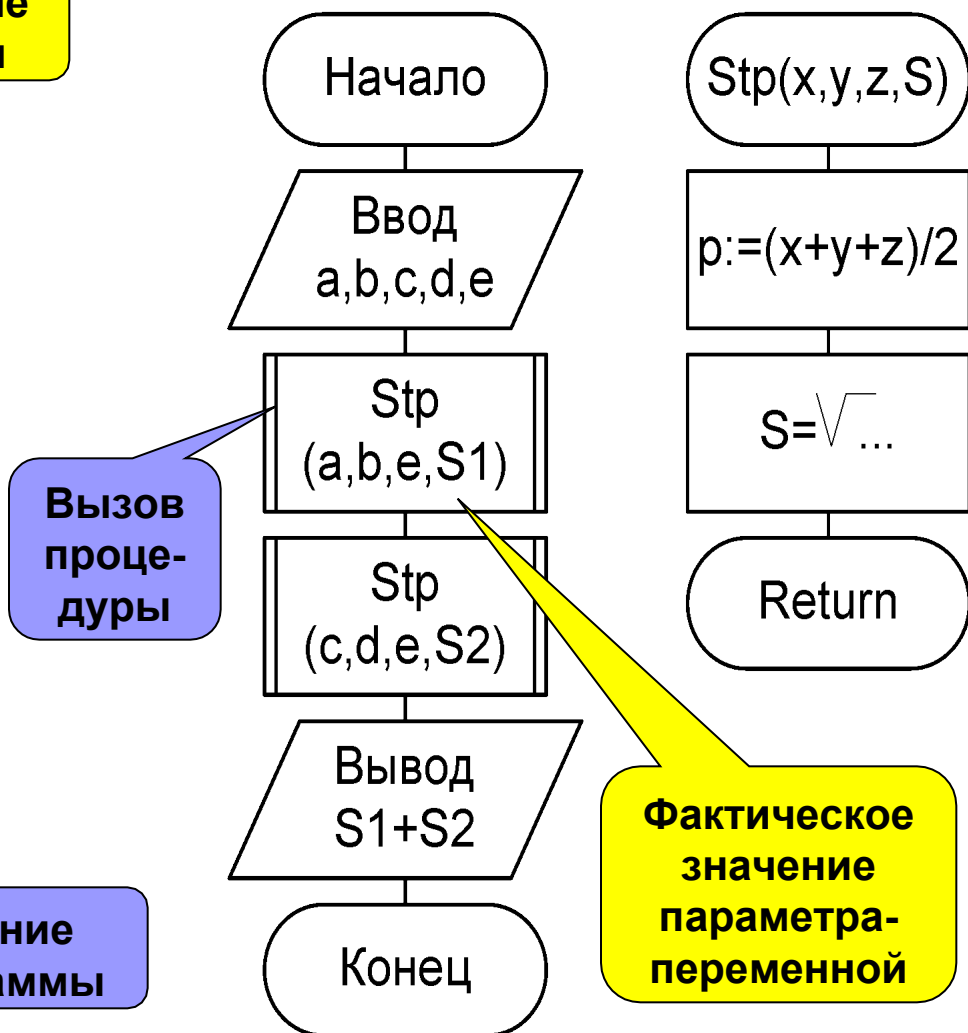
Схемы алгоритмов подпрограмм

Подпрограмма-функция



Подпрограмма-процедура

Формальный параметр-переменная в заголовке на схеме не выделяется



Функция

```
Program Ex4_1;  
{ $APPTYPE CONSOLE }  
Uses SysUtils;  
Var A,B,C,D,E:single;  
Function Stf(const X,Y,Z: single): single;  
    Var p:single;  
    begin  
        p:=(X+Y+Z)/2;  
        Result:=sqrt(p*(p-X)*(p-Y)*(p-Z)); // или Stf:=..  
    end;  
Begin  
    WriteLn('Input a,b,c,d,e:');  
    ReadLn(A,B,C,D,E);  
    WriteLn('S=',Stf(A,B,E)+Stf(C,D,E):7:3);  
    ReadLn;  
End.
```

Глобальные переменные

Тип возвращаемого значения

Локальная переменная

Вычисление возвращаемого значения

Вызов функции из выражения

Процедура

```
Program Ex4_2;  
{$APPTYPE CONSOLE}  
uses SysUtils;  
Var A,B,C,D,E:real; S1,S2:single;  
Procedure Stp(const X,Y,Z:single;var S:single) ;  
    Var p:single;  
    begin    p:=(X+Y+Z)/2;  
            S:=sqrt(p*(p-X)*(p-Y)*(p-Z));  
    end;  
Begin  
    WriteLn('Input a,b,c,d,e');    ReadLn(A,B,C,D,E);  
    Stp(A,B,E,S1);  
    Stp(C,D,E,S2);  
    WriteLn('S= ',S1+S2:7:3);  
    ReadLn;  
End.
```

Глобальные переменные

Возвращаемое значение

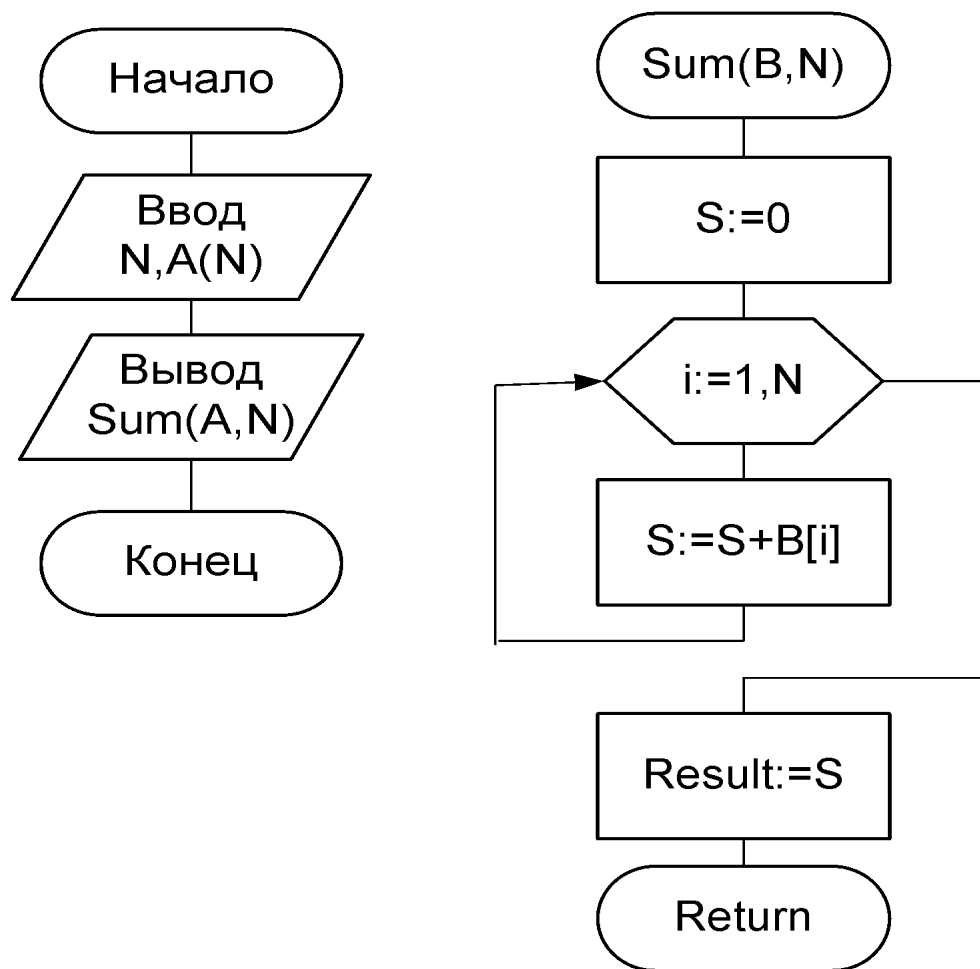
Локальная переменная

Вызов процедуры

Параметры структурных типов

Структурные типы параметров должны быть **предварительно объявлены**.

Пример. Функция вычисления суммы элементов массива.



Программа

Program Ex4_3;

{ \$APPTYPE CONSOLE }

Uses SysUtils;

Type mas=array[1..10] of integer;

Var a:mas; i,n:integer;

Function sum(b:mas; n:integer):integer;

Var s:integer; i:integer;

Begin s:=0;

for i:=1 to n do s:=s+b[i];

Result:=s;

End;

Begin Write('Input n:');

ReadLn(n);

for i:=1 to n do Read(a[i]);

ReadLn;

WriteLn('Sum =' , sum(a,n));

ReadLn;

End.

Предварительное
объявление типа
параметра

Объявление
параметра
структурного типа

Фактический
параметр
структурного типа

4.2 Модули

Модуль – это автономно компилируемая коллекция программных ресурсов, предназначенных для использования другими модулями и программами.

Ресурсы – переменные, константы, описания типов и подпрограммы. Все ресурсы, определенные в модуле делят на:

- 1) **внешние** – предназначенные для использования другими программами и модулями.
- 2) **внутренние** – предназначенные для использования внутри модуля.

Структура модуля:

Unit <Имя модуля>;

Interface

<Интерфейсная секция>

Implementation

<Секция реализации>

[Initialization

<Секция инициализации>

[Finalization

<Секция завершения>]]

End.

Имя модуля должно совпадать с именем файла, в котором он описан.

Подключение модуля к программе

Подключение модуля к программе осуществляется по имени:

Uses <Имя модуля1>, <Имя модуля2>, ...;

Объявление модулей в файле проекта

Если:

- к проекту подключается модуль, который находится в каталоге, не совпадающем с каталогом проекта и не указанным в путях компилятора;
- в путях компилятора имеется несколько модулей с одинаковыми именами,

то необходимо указать местонахождение модуля:

Uses Strings in 'C:\Classes\Strings.pas' ;

Uses Strings in '..\Strings.pas' ; {относительно текущего кат.}

Модули, объявленные в файле проекта с указанием **in ...**, считаются частью проекта, т. е. доступны через средства работы с проектом среды.

Использование указания **in ...** в файлах с расширением **pas** не допустимо.

Модуль с функцией вычисления суммы

```
Unit Summa; {должен находиться в файле Summa.pas}
```

```
Interface
```

```
    type mas=array[1..10] of integer;
```

```
    function sum(b:mas;n:integer):integer;
```

```
Implementation
```

```
    Function sum;
```

```
        Var s:integer;i:integer;
```

```
        begin
```

```
            s:=0;
```

```
            for i:=1 to n do s:=s+b[i];
```

```
            Result:=s;
```

```
        end;
```

```
End.
```

Программа вычисления суммы

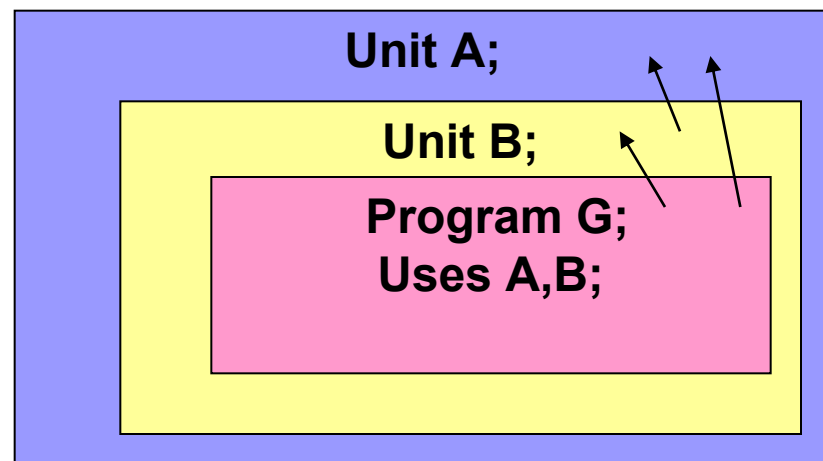
```
Program Ex4_4;  
{ $APPTYPE CONSOLE }  
Uses SysUtils,  
      Summa in 'Summa.pas';  
Var a:mas;  
    i,n:integer;  
Begin  
    Write('Input n:');  
    Readln(n);  
    for i:=1 to n do Read(a[i]);  
    ReadLn;  
    WriteLn('Sum =',sum(a,n));  
    ReadLn;  
End.
```

Правило видимости имен ресурсов модуля

Ресурсы модуля перекрываются ресурсами программы и ранее указанных модулей.

Для доступа к перекрытым ресурсам модуля используют точечную нотацию:

<Имя модуля>.<Имя ресурса>



Пример:

```
Unit A;
```

```
    Interface
```

```
        Var X:real; ...
```

```
End.
```

```
Program ex;
```

```
    Uses A;
```

```
        Var X:integer;
```

```
Begin
```

```
    X:=10;
```

```
    A.X:=0.45; ...
```

4.3 Создание универсальных подпрограмм

4.3.1 Открытые массивы и строки

Открытый массив – конструкция описания типа массива без указания типа индексов. **Используется только при объявлении формальных параметров.**

Примеры:

```
array of single;  
array of integer;
```

Индексы открытого массива всегда начинаются с 0.

Размер можно:

- передать через дополнительный параметр;
- получить, используя функцию High(<Идентификатор массива>).

Функция с открытым массивом

Unit Summa2;

Interface

Function sum(**b:array of integer**; n:integer):integer;

Размер
массива

Implementation

Function sum;

var s:integer;

i:integer;

begin

s:=0;

for i:=0 to n-1 do s:=s+b[i];

Result:=s;

end;

End.

Тестирующая программа

```
Program Ex4_5;  
{ $APPTYPE CONSOLE }  
  
Uses  
    SysUtils,  
    Summa2 in 'Summa2.pas';  
  
Var a:array[1..10] of integer;  
    i,n:integer;  
  
Begin  
    Write('Input n:');  
    ReadLn(n);  
    for i:=1 to n do Read(a[i]);  
    ReadLn;  
    WriteLn('Sum=',sum(a,n));  
    ReadLn;  
  
End.
```

Открытые строки

Для строк, передаваемых в подпрограмму как параметр-переменная, Паскаль осуществляет контроль длины строки.

Чтобы избежать его необходимо использовать «открытые» строки.

Пример. Программа, формирующая строку из букв латинского алфавита.

```
Unit Stroka;  
Interface  
    Procedure Add(var s:openstring) ;  
Implementation  
    Procedure Add;  
    Var Ch:char;  
        begin  
            Ch:=s[length(s)] ;  
            s:=s+chr(succ(Ord(Ch))) ;  
        end;  
End.
```

Тестирующая программа

```
program Ex4_6;  
{$APPTYPE CONSOLE}  
uses SysUtils,  
      Stroka in 'Stroka.pas';  
  
Var S:string[26];i:integer;  
Begin  
    s:='A';  
    for i:=2 to 26 do Add(s);  
    WriteLn(s);  
    ReadLn;  
end.
```


4.3.2 Нетипизированные параметры

Нетипизированные параметры – параметры-переменные, тип которых при объявлении не указан.

Для приведения нетипизированного параметра к определенному типу можно использовать:

1) автоопределенное преобразование типов:

```
Procedure Proc (Var a) ; ...  
    ...b:= Integer(a)+10; ...
```

2) наложенное описание переменной определенного типа:

```
Procedure Proc (Var a) ; ...  
    Var r:real absolute a;...
```

Суммирование чисел различных типов

```
Unit Summa4;
```

```
Interface
```

```
  type ttype=(treal,tinteger);
```

```
  function sum(var x;n:integer;t:ttype):real;
```

```
Implementation
```

```
  function sum;
```

```
    Var  mr:array[1..3000] of real absolute x;
```

```
        mi:array[1..3000] of integer absolute x;
```

```
        s:real;i:integer;
```

```
  begin s:=0;
```

```
    if t=treal then
```

```
      for i:=1 to n do s:=s+mr[i]
```

```
    else for i:=1 to n do s:=s+mi[i];
```

```
    sum:=s;
```

```
  end;
```

```
End.
```

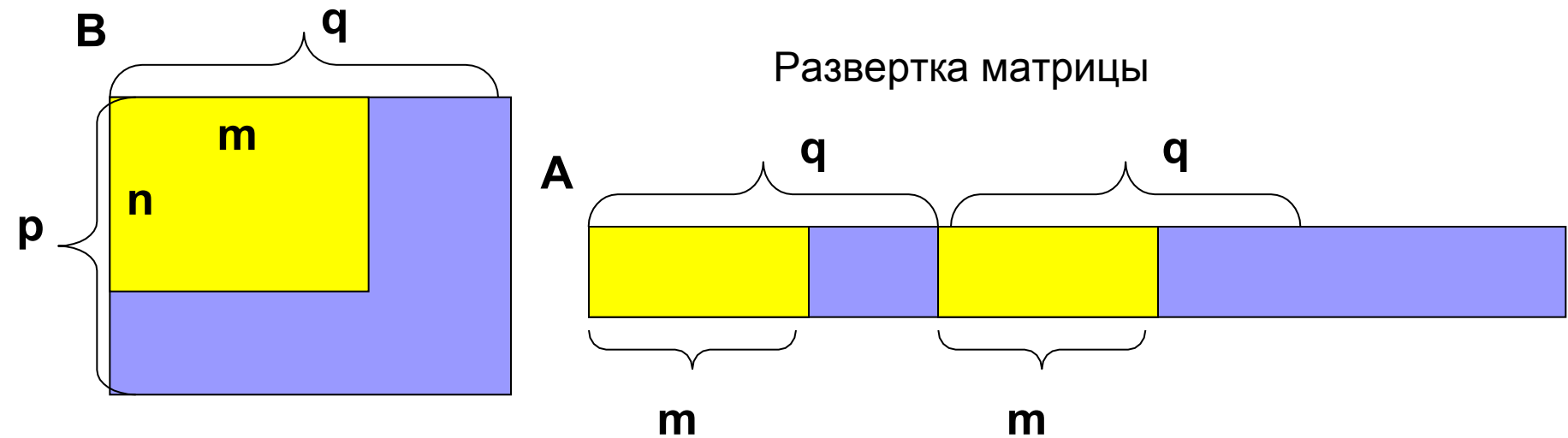
Параметр
перечисляемого типа,
определяющий тип
элементов массива

Описанный массив
накладывается по
адресу параметра

Тестирующая программа

```
program Ex4_7;  
{$APPTYPE CONSOLE}  
uses SysUtils,  
    Summa4 in 'Summa4.pas';  
Var a:array[1..10] of integer;  
    b:array[1..15] of real;  
    i,n:integer;  
Begin  
    for i:=1 to 10 do Read(a[i]);  
    ReadLn;  
    WriteLn('Sum=',sum(a,10,tinteger):8:1);  
    for i:=1 to 15 do Read(b[i]);  
    ReadLn;  
    WriteLn('Sum=',sum(b,15,treal):8:1);  
    ReadLn;  
end.
```

Универсальные подпрограммы с многомерными массивами



$B[i, j]$

\Leftrightarrow

$A[(i-1) * q + j]$

Транспонирование матрицы

В транспонированной матрице B: $b[i, j] = a[j, i]$

1	1	1	1	1
2	2	2	2	2
3	3	3	3	3
4	4	4	4	4
5	5	5	5	5

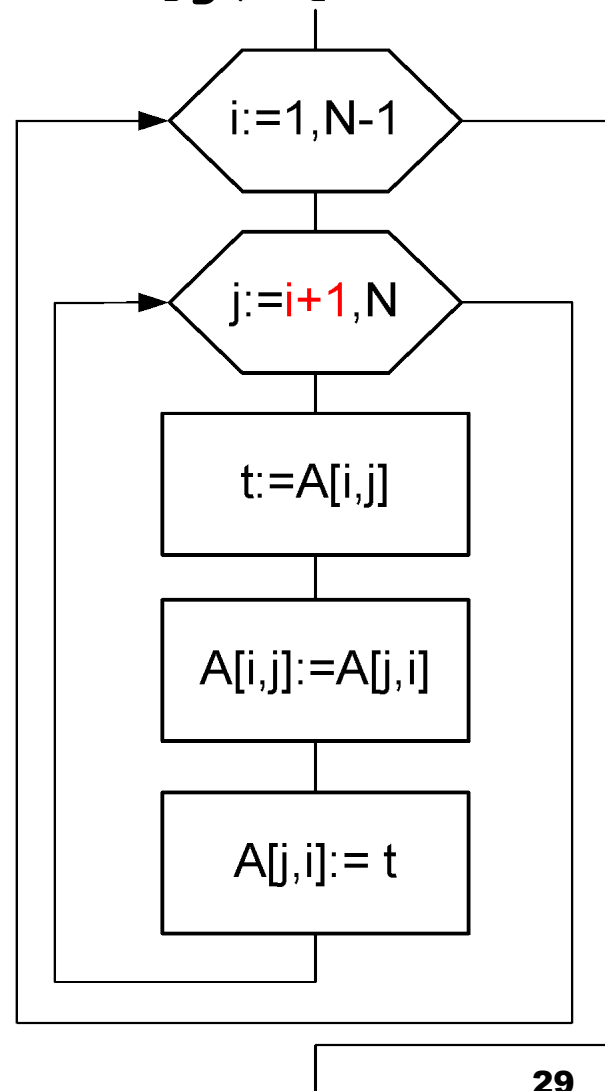
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5

Если $i=1$, то первый номер столбца $j=2$

$i=2 \Rightarrow j=3$

$i=3 \Rightarrow j=4$

$i=4 \Rightarrow j=5$



Универсальная подпрограмма

Unit Matrica;

Interface

```
procedure Tran(Var x;n,q:integer);
```

Implementation

```
procedure Tran;
```

```
Var a:array[1..3000] of real absolute x;
```

```
    i,j:integer;          t:single;
```

```
begin
```

```
    for i:=1 to n-1 do
```

```
        for j:= i+1 to n do
```

```
            begin t:=a[(i-1)*q+j];
```

```
                a[(i-1)*q+j]:=a[(j-1)*q+i];
```

```
                a[(j-1)*q+i]:=t;
```

```
            end;
```

```
end;
```

```
End.
```

Тестирующая программа

```
Program Ex4_8;  
{ $APPTYPE CONSOLE }  
Uses SysUtils,  
    Matrica in 'Matrica.pas';  
Var    a:array[1..10,1..10] of single;    i,j:integer;  
Begin WriteLn('Input a(5*5):');  
    for i:=1 to 5 do  
        begin for j:=1 to 5 do Read(a[i,j]);  
                ReadLn;  
        end;  
    tran(a,5,10);  
    WriteLn('Result:');  
    for i:=1 to 5 do  
        begin for j:=1 to 5 do Write(a[i,j]:6:2);  
                WriteLn;  
        end;  
    ReadLn;  
End.
```

4.3.3 Параметры процедурного типа

Параметры процедурного типа используются для передачи в подпрограмму имен процедур и функций.

Для объявления процедурного типа используется заголовок подпрограммы, в котором отсутствует имя:

```
Type   proc=procedure (a,b,c:real;Var d:real);  
        func=function(x:real):real;
```

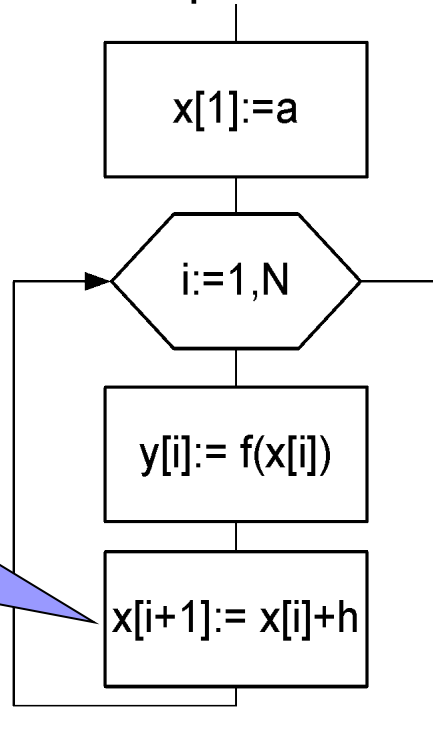
Значениями переменных процедурных типов являются идентификаторы процедур и функций с соответствующими заголовками:

```
Var   f:func;  
...  
f:=fun1;...
```


Табулирование функций

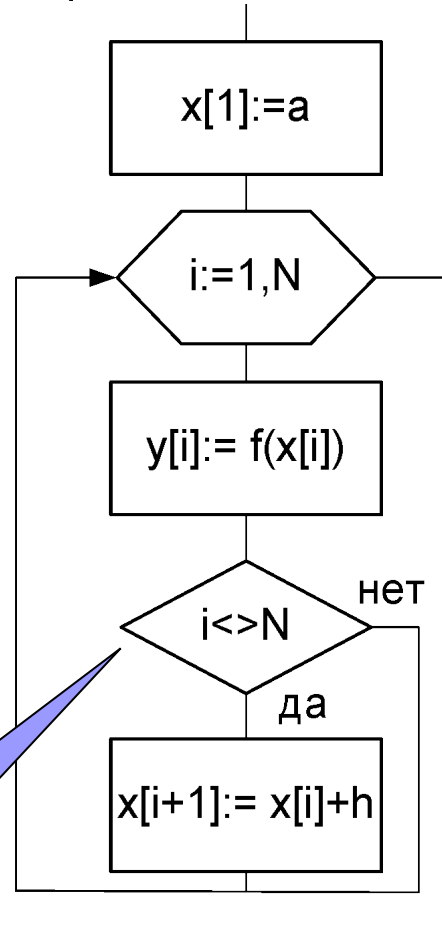
Табулирование – построение таблицы значений:

x	y
0.01	5.56
0.02	6.34
0.03	7.56
...	

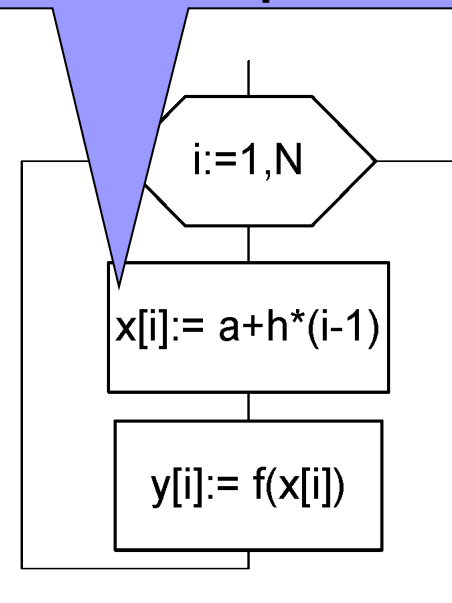


Рассчитывается лишний $N+1$ элемент

Исключение расчета лишнего элемента за счет дополнительной проверки



Расчет значения аргумента требует больше времени



Подпрограмма табулирования функции

```
Unit SFun;  
Interface  
    Type func=function(x:Single):Single;  
    Procedure TabFun(f:func;a,b:Single;n:integer;  
                    var Masf,MasX:array of Single);  
Implementation  
Procedure TabFun;  
    Var h,x:Single;    i:integer;  
    Begin  
        h:=(b-a)/(n-1);  
        for i:=0 to n-1 do  
            begin MasX[i]:= a+h*i;  
                  Masf[i]:=f(MasX[i]);  
            end;  
    End;  
  
End.
```

Тестирующая программа

```
Program Ex4_9;  
{$APPTYPE CONSOLE}  
Uses SysUtils,  
      SFun in 'SFun.pas';  
Var masF1,masX1:array[1..10] of Single;  
    masF2,masX2:array[1..20] of Single;  
    i:integer;  
function F1(x:Single):Single;  
Begin  
    F1:=sin(x);  
end;  
function F2(x: Single):Single;  
Begin  
    F2:=exp(x)+cos(x);  
end;
```

Тестирующая программа. Раздел операторов

Begin

TabFun (F1, 0, 2, 10, masF1, masX1) ;

WriteLn ('Table 1') ;

for i:=1 to 10 do

WriteLn (masX1:4:1, masF1[i]:7:1) ;

WriteLn ('Table 2') ;

TabFun (F2, 0, 2, 20, masF2, masX2) ;

for i:=1 to 20 do

WriteLn (masX2:4:1, masF2[i]:7:1) ;

ReadLn ;

End.

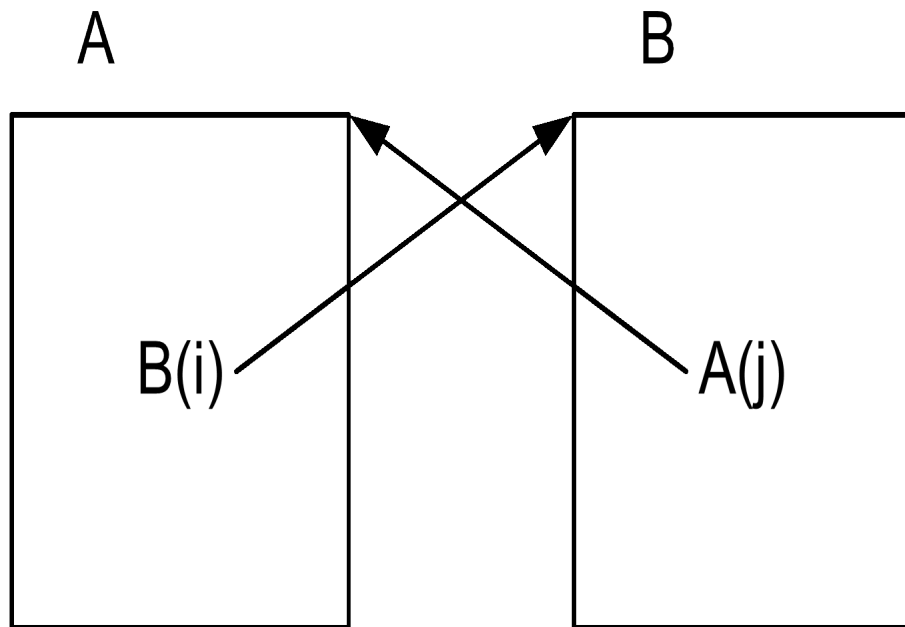
4.4 Рекурсия

4.4.1 Основные понятия

Рекурсия – организация вычислений, при которой процедура или функция обращаются к самим себе.

Различают явную и косвенную рекурсии. При явной – в теле подпрограммы существует вызов самой себя, при косвенной – вызов осуществляется в подпрограммах, вызываемых из рассматриваемой.

Косвенная рекурсия требует **предопределения forward**:

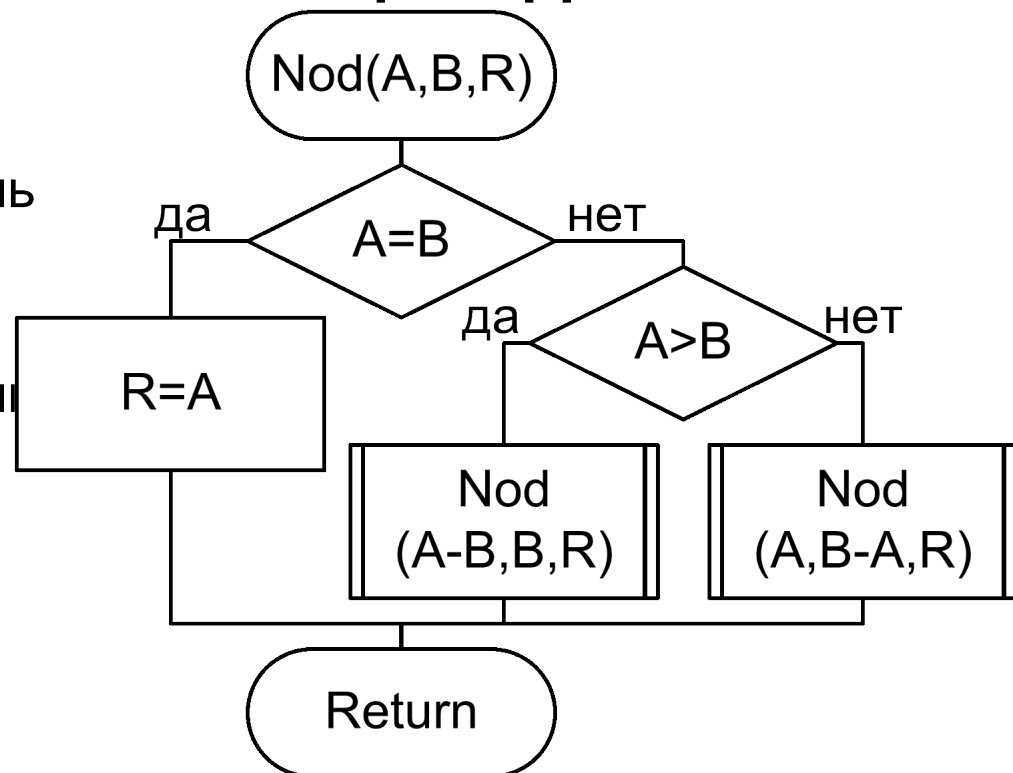


```
procedure B(j:byte) ;  
    forward;  
  
procedure A(j:byte) ;  
begin ...B(i) ;...  
end;  
  
procedure B;  
begin ... A(j) ;...  
end;
```

Вычисление наибольшего общего делителя

Базисное утверждение: если два числа равны, то их наибольший общий делитель равен этим числам.

Рекурсивное утверждение: наибольший общий делитель двух чисел равен наибольшему общему делителю их разности и меньшего из чисел.



a
b
r

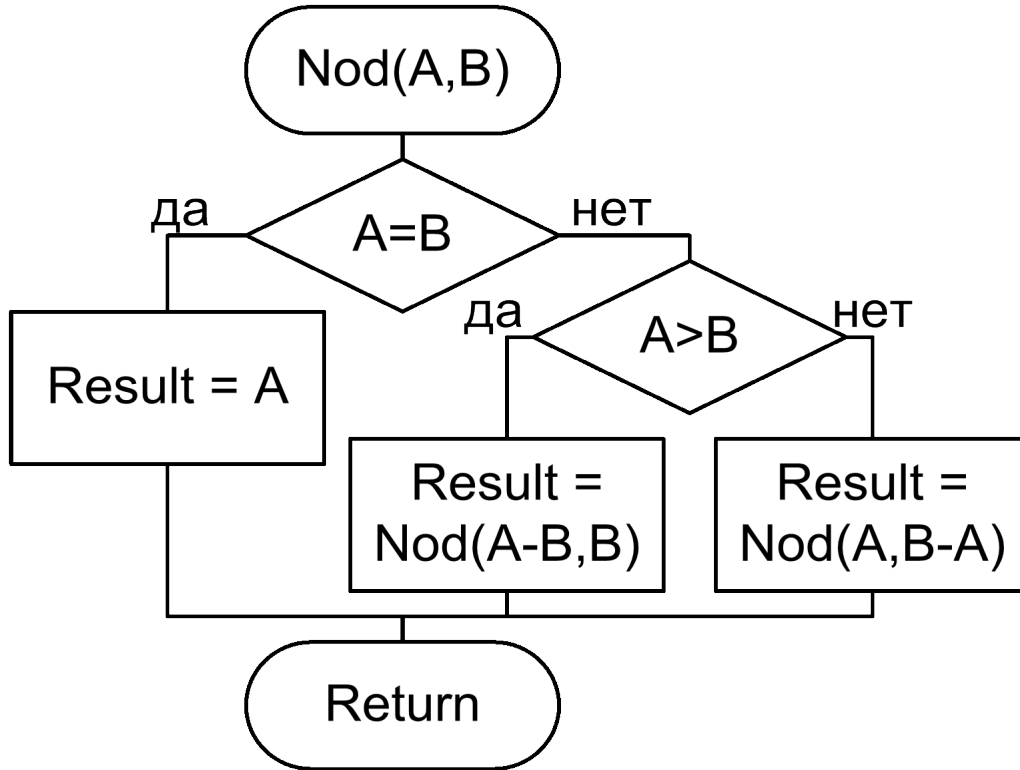
18
12
6



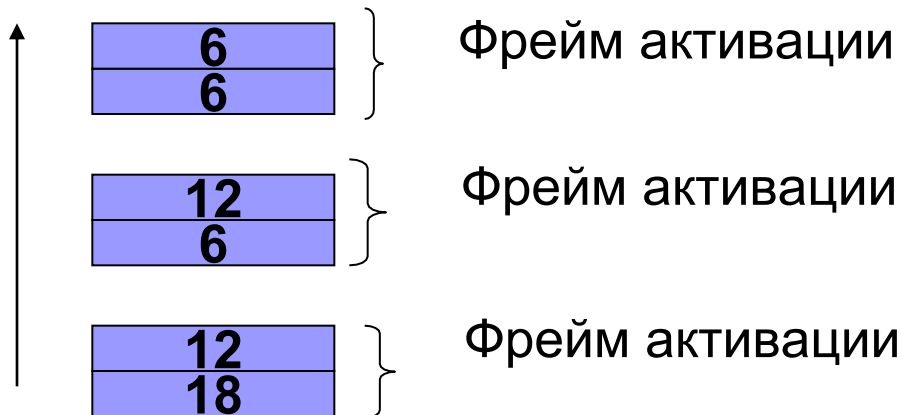
Вычисление наибольшего общего делителя (2)

```
Program Ex4_10a;  
{ $APPTYPE  CONSOLE }  
Uses SysUtils;  
Var a,b,r:integer;  
Procedure nod(a,b:integer; var r:integer);  
    Begin  
        if a=b then r:=a  
        else if a>b then nod(a-b,b,r)  
            else nod(a,b-a,r)  
    End;  
Begin  
    WriteLn('Input A,B');  
    ReadLn(a,b);  
    nod(a,b,r);  
    WriteLn(r);  
    ReadLn;  
End.
```

Вычисление наибольшего общего делителя (3)



a 18
b 12
r 6



Вычисление наибольшего общего делителя (4)

```
Program Ex4_10b;  
{ $APPTYPE CONSOLE }  
Uses SysUtils;  
Var a,b,r:integer;  
Function nod(a,b:integer):integer;  
    begin if a=b then Result:=a  
          else  
              if a>b then Result:=nod(a-b,b)  
                  else Result:=nod(a,b-a)  
          end;  
Begin WriteLn('Input A,B');  
    ReadLn(a,b);  
    r:=nod(a,b);  
    WriteLn(r);  
    ReadLn;  
End.
```

4.4.2 Фрейм активации.

Структура рекурсивной подпрограммы

Каждое обращение к рекурсивной подпрограмме вызывает независимую *активацию* этой подпрограммы.

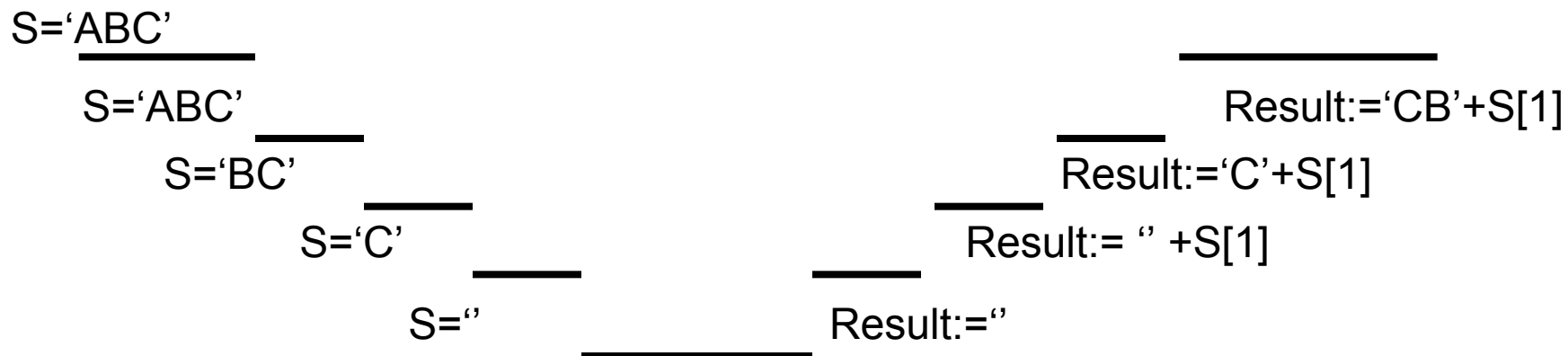
Совокупность данных, необходимых для *одной* активации рекурсивной подпрограммы, называется *фреймом активации*.

Фрейм активации включает

- локальные переменные подпрограммы;
- копии параметров-значений;
- адреса параметров-переменных и параметров-констант (4 байта);
- копию строки результата (для функций типа string);
- служебную информацию (≈ 12 байт, точный размер этой области зависит от способа передачи параметров).

Переворот строки

1) последовательное отсечение начального элемента и добавление его в конец результирующей строки:



```
Function reverse1(const st:string):string;  
Begin  
  if length(st)=0 then Result:=''  
  else  
    Result:= reverse1(copy(st,2,length(st)-1))+ st[1];  
  End;
```

Фрейм активации: $V=4 + 256 + \text{<служебная область>} \approx 272$.

Переворот строки (2)

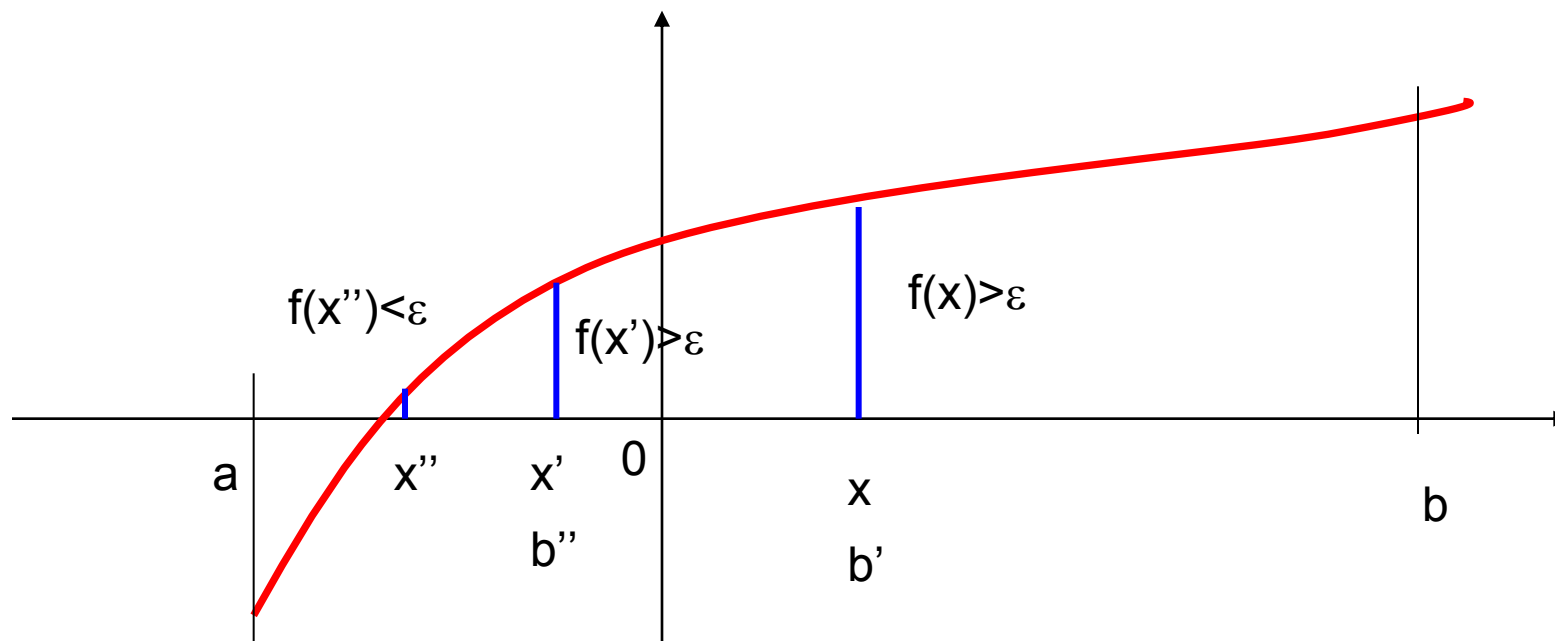
2) последовательная перестановка элементов,
например

ABCDE \Rightarrow EBCDA \Rightarrow EDCBA

```
Procedure reverse2 (var ss:string; n:integer) ;  
Var temp:char;  
Begin if n<=length(ss) div 2 then  
    begin temp:=ss[n] ;  
        ss[n]:=ss[length(ss)-n+1] ;  
        ss[length(ss)-n+1]:=temp ;  
        reverse2 (ss,n+1) ;  
    end;  
End;
```

Фрейм активации: $V=4+4+1+<\text{служебная область}>\approx 21$

Определение корней уравнения на заданном отрезке. Метод деления пополам

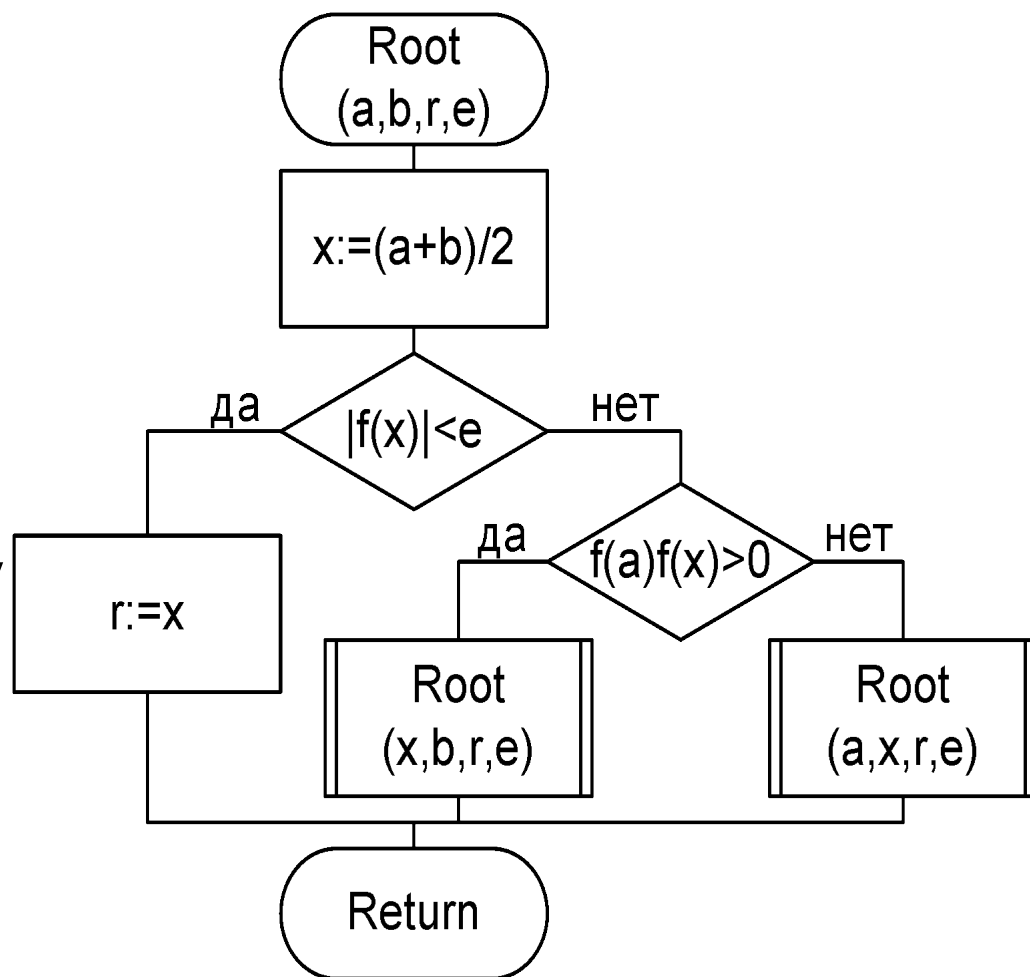


$$x = (b-a)/2$$

Определение корней уравнения на заданном отрезке (2)

Базисное утверждение: Если абсолютная величина функции в середине отрезка не превышает заданного значения погрешности, то координата середины отрезка и есть корень.

Рекурсивное утверждение: Корень расположен между серединой отрезка и тем концом, значение функции в котором по знаку не совпадает со значением функции в середине отрезка.

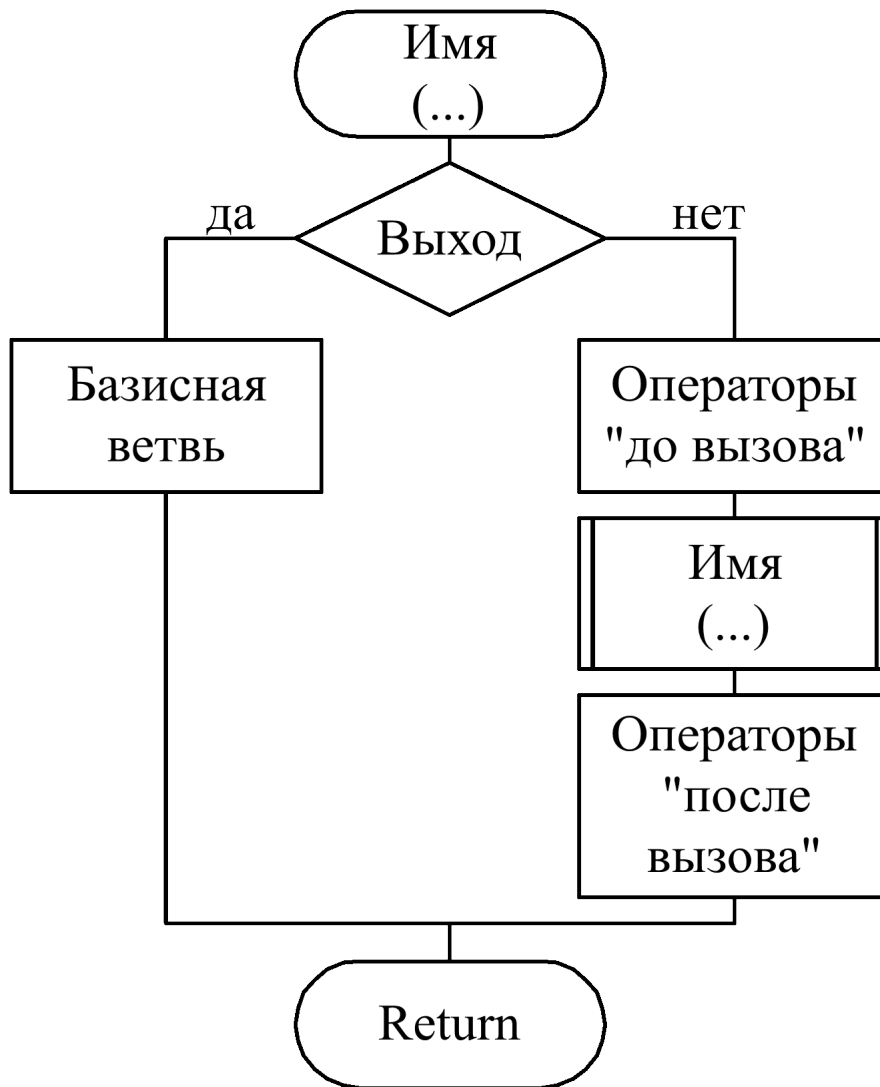


Определение корней уравнения на заданном отрезке (3)

```
Program Ex4_11;  
{ $APPTYPE CONSOLE }  
Uses SysUtils;  
Var a,b,eps,x:real;  
Procedure root(a,b,eps:real;var r:real);  
  Var f,x:real;  
  Begin    x:=(a+b)/2; f:=x*x-1;  
           if abs(f)>=eps then  
             if (a*a-1)*f>0 then root(x,b,eps,r)  
               else root(a,x,eps,r)  
           else r:=x;  
  End;  
Begin      WriteLn('Input a,b,eps'); ReadLn(a,b,eps);  
           root(a,b,eps,x);  
           WriteLn('Root x=',x:9:7); ReadLn;  
End.
```

Если корней на заданном отрезке нет, то произойдет закливание!

Структура рекурсивной подпрограммы



«Операторы после вызова», выполняются *после возврата управления* из рекурсивно вызванной подпрограммы.

Пример. Распечатать положительные элементы массива в порядке следования, а отрицательные элементы – в обратном порядке. Признак конца массива – 0.

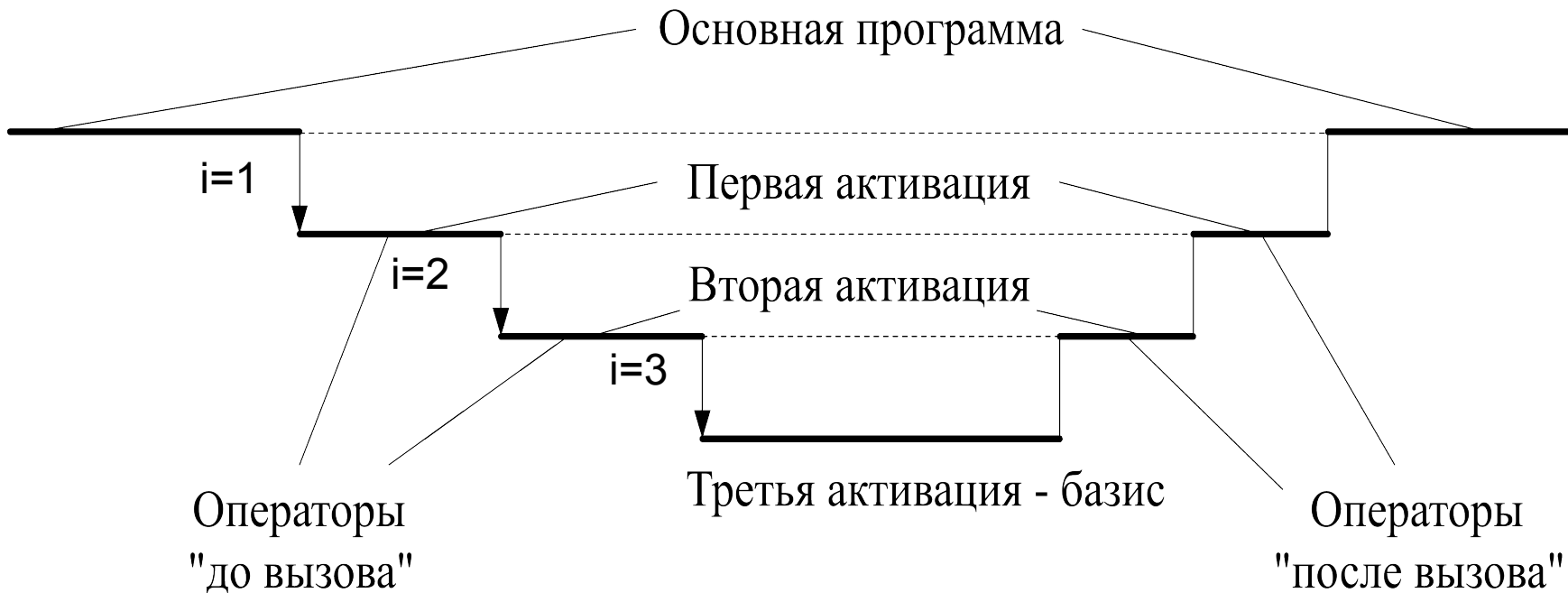
Просмотр массива

Дан массив, завершающийся нулем и не содержащий нулей в середине, например:

4 -5 8 9 -3 0.

Необходимо напечатать положительные элементы в том порядке, как они встречаются в массиве и отрицательные элементы в обратном порядке:

4 8 9 -3 -5



Просмотр массива. Программа

```
Program Ex4_12;  
{ $APPTYPE CONSOLE }  
  
Uses SysUtils;  
  
Type mas=array[1..10] of real;  
Var x:mas;    i:integer;  
  
Procedure print(const x:mas;i:integer);  
    Begin if x[i]=0 then WriteLn('***')  
           else  
               begin  
                   if x[i]>0 then WriteLn(i,x[i]);  
                   print(x,i+1);  
                   if x[i]<0 then WriteLn(i,' ', x[i]);  
               end  
    End;  
  
End;
```

Просмотр массива. Программа (2)

Begin

 i:=0;

 repeat

 i:=i+1;

 Read(x[i])

 until x[i]=0;

 print(x,1);

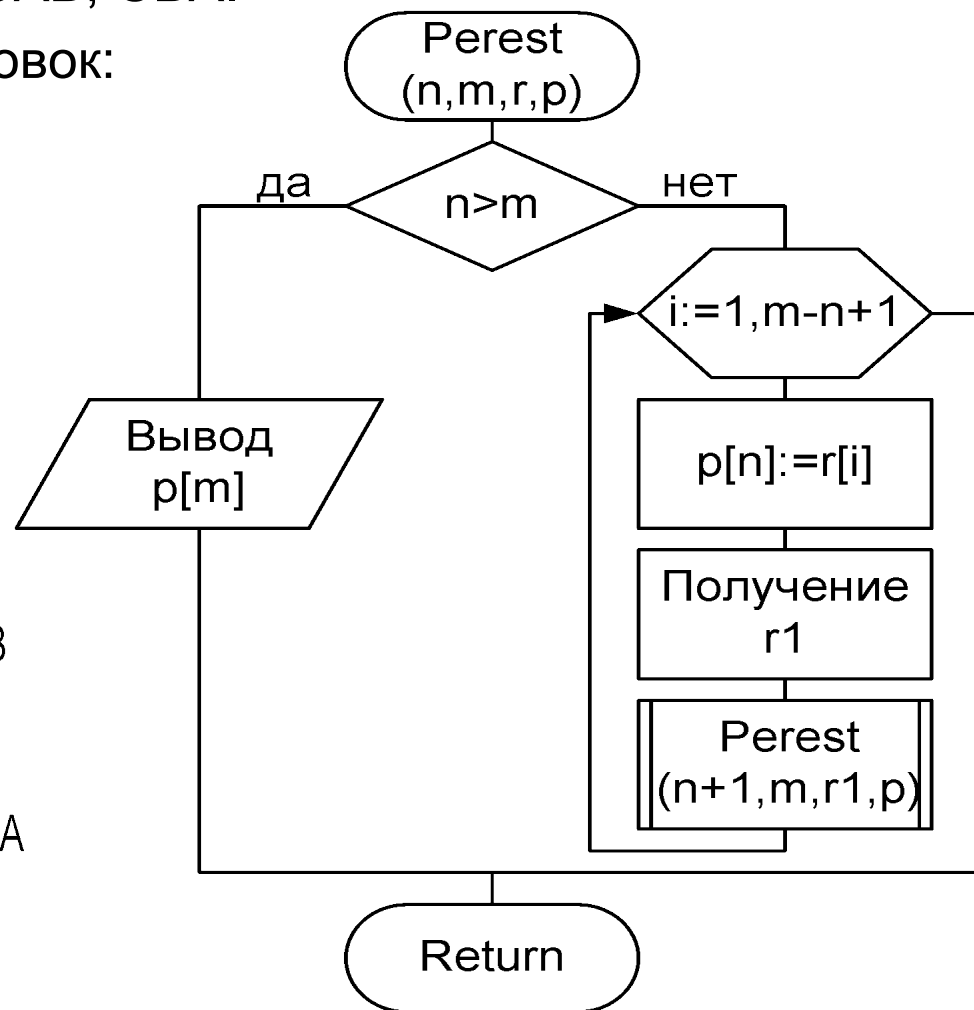
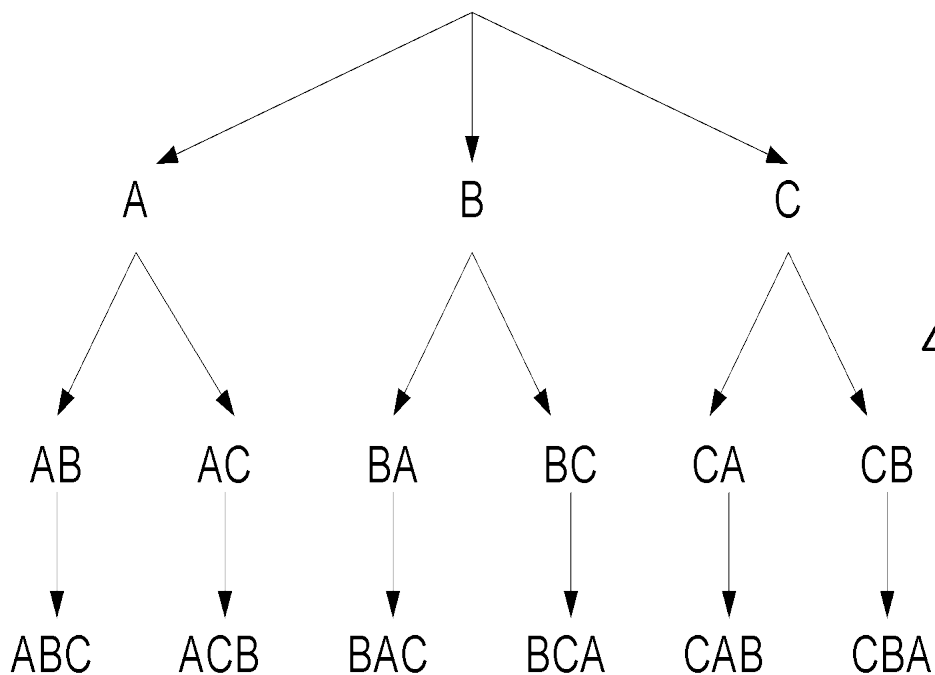
 ReadLn;

End.

4.4.3 Древовидная рекурсия. Перестановки

$A, B, C \Rightarrow ABC, ACB, BAC, BCA, CAB, CBA$.

Схема формирования перестановок:



Перестановки (2)

```
Program Ex4_13;  
{$APPTYPE CONSOLE}  
Uses SysUtils;  
Type mas=array[1..3] of char;  
Var a:mas='ABC'; Var pole:mas;  
procedure Perest(n,m:integer; Const r:mas;  
                Var pole:mas);  
    Var r1:mas; k,j,i:integer;  
    Begin  
        if n>m then  
            begin  
                for i:=1 to m do Write(pole[i]); WriteLn;  
            end  
        else
```

Перестановки (3)

```
    for i:=1 to m-n+1 do
        begin
            pole[n]:=r[i];
            k:=1;
            for j:=1 to m-n+1 do
                if j<>i then
                    begin    r1[k]:=r[j];    k:=k+1; end;
                Perest(n+1,m,r1,pole);
            end;
        end;
    End;
Begin
    Perest(1,3,a,pole);
    ReadLn;
End.
```