Рекурсия

Любой современный язык программирования позволяет создать функцию — участок кода, которому присваивается идентификатор, и который может быть вызван на выполнение из другого участка кода.

При этом нет фундаментальных ограничений на то место, откуда можно вызвать функцию. В том числе, можно вызвать функцию изнутри нее же.

Рекурсия — это ситуация, при которой функция вызывает сама себя.

Различают **прямую** рекурсию, когда функция вызывает себя непосредственно, и **косвенную** рекурсию, когда функция вызывает другую функцию, а она в свою очередь вызывает исходную.

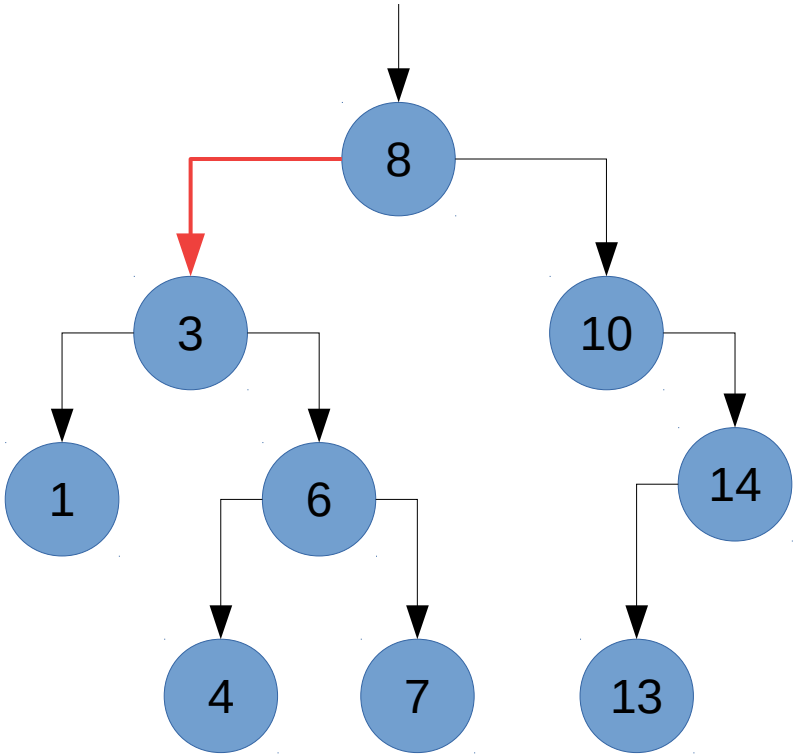
Рекурсия

Рекурсия используется для реализации рекуррентных алгоритмов, а также для обработки данных, хранящихся в виде дерева (например, файлов).

Функция, осуществляющая обход дерева, будет выполнять одни и те же операции независимо от того, какой узел дерева был выбран в качестве начального. При переходе к следующему узлу, функция вызывает себя же, передав новый узел в качестве аргумента.

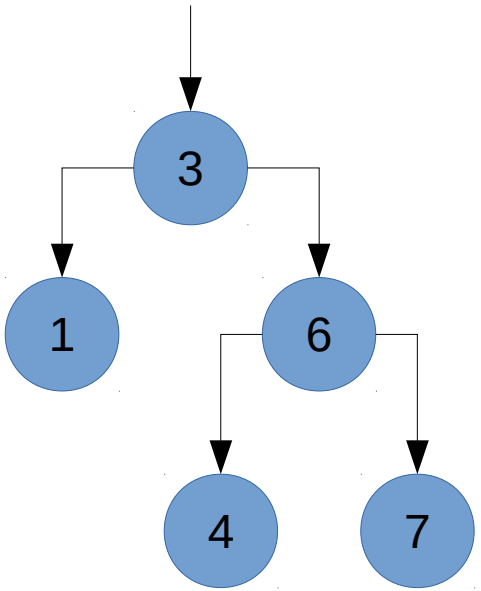
Рекурсия

Очевидно, что ситуация, когда функция вызывает сама себя, может привести к зацикливанию программы. Поэтому обязательно необходимо определить условие, задающее **терминальную ветвь**, ограничивающую рекурсию. Ветви расчета, ведущие к продолжению рекурсии, называются **рекурсивными**.



Рекурсия

Очевидно, что ситуация, когда функция вызывает сама себя, может привести к зацикливанию программы. Поэтому обязательно необходимо определить условие, задающее **терминальную ветвь**, ограничивающую рекурсию. Ветви расчета, ведущие к продолжению рекурсии, называются **рекурсивными**.



Пример рекурсии

Один из примеров применения рекурсии — расчет факториала. Можно записать соотношение:

$$n! = n \cdot (n-1)!$$

И, исходя из него записать функцию расчета факториала следующим образом:

```
def fact(n):
  if n == 1:
    return 1
  return n * fact(n-1)
```

Условие n == 1 определяет терминальную ветвь рекурсии. Остальная часть функции является рекурсивной ветвью.

Пример рекурсии

Каждый вызов функции работает со своим набором аргументов и своими локальными переменными

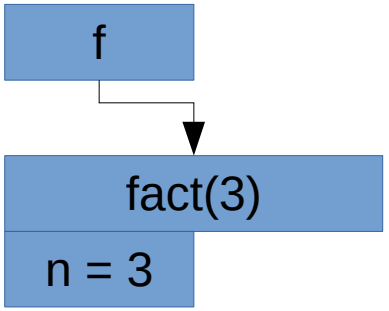
```
f = fact(3)
```

Пример рекурсии

Каждый вызов функции работает со своим набором аргументов и своими локальными переменными

```
def fact(n):
  if n == 1:
    return 1
  r = n * fact(n-1)
  return r


f = fact(3)
```

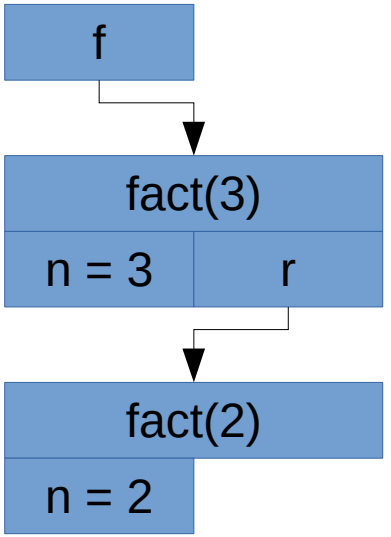


Пример рекурсии

Каждый вызов функции работает со своим набором аргументов и своими локальными переменными

```
def fact(n):
  if n == 1:
    return 1
  r = n * fact(n-1)
  return r


f = fact(3)
```

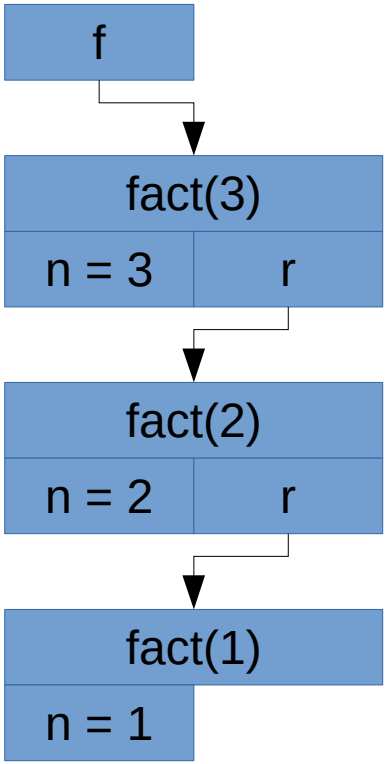


Пример рекурсии

Каждый вызов функции работает со своим набором аргументов и своими локальными переменными

```
def fact(n):
  if n == 1:
    return 1
  r = n * fact(n-1)
  return r


f = fact(3)
```

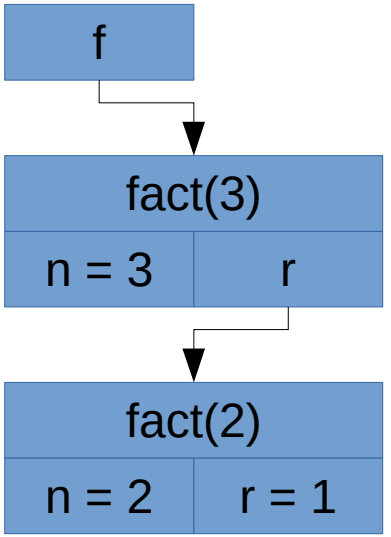


Пример рекурсии

Каждый вызов функции работает со своим набором аргументов и своими локальными переменными

```
def fact(n):
  if n == 1:
    return 1
  r = n * fact(n-1)
  return r


f = fact(3)
```

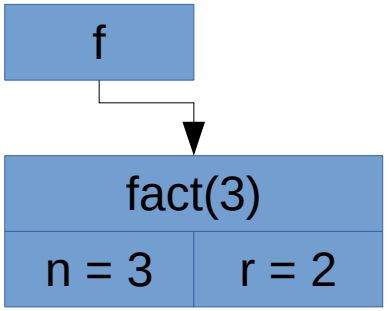


Пример рекурсии

Каждый вызов функции работает со своим набором аргументов и своими локальными переменными

```
def fact(n):
  if n == 1:
    return 1
  r = n * fact(n-1)
  return r


f = fact(3)
```



Пример рекурсии

Каждый вызов функции работает со своим набором аргументов и своими локальными переменными

```
def fact(n):
  if n == 1:
    return 1
  r = n * fact(n-1)
  return r


f = fact(3)
```

f = 6

Стек вызовов

Каждый вызов функции несет накладные расходы: передачу аргументов, хранение возвращаемого значения и адреса возврата, с которого следует продолжить выполнение по окончании работы функции.

Для хранения этих данных используется специальная область памяти — **стек**. Туда же помещаются локальные переменные, создаваемые внутри функции. При этом объем стека ограничен величинами порядка единиц мегабайт.

При использовании рекурсии возможно возникновение нетривиальной ошибки — **переполнение стека** (англ. Stack Overflow).

Аппаратный стек

Откомпилированная программа, исполняемая непосредственно на центральном процессоре, использует аппаратный стек.

Стек обслуживается одним регистром процессора, хранящим адрес вершины стека. На процессорах семейства Intel он носит название ESP (32 бита) и RSP (64 бита).

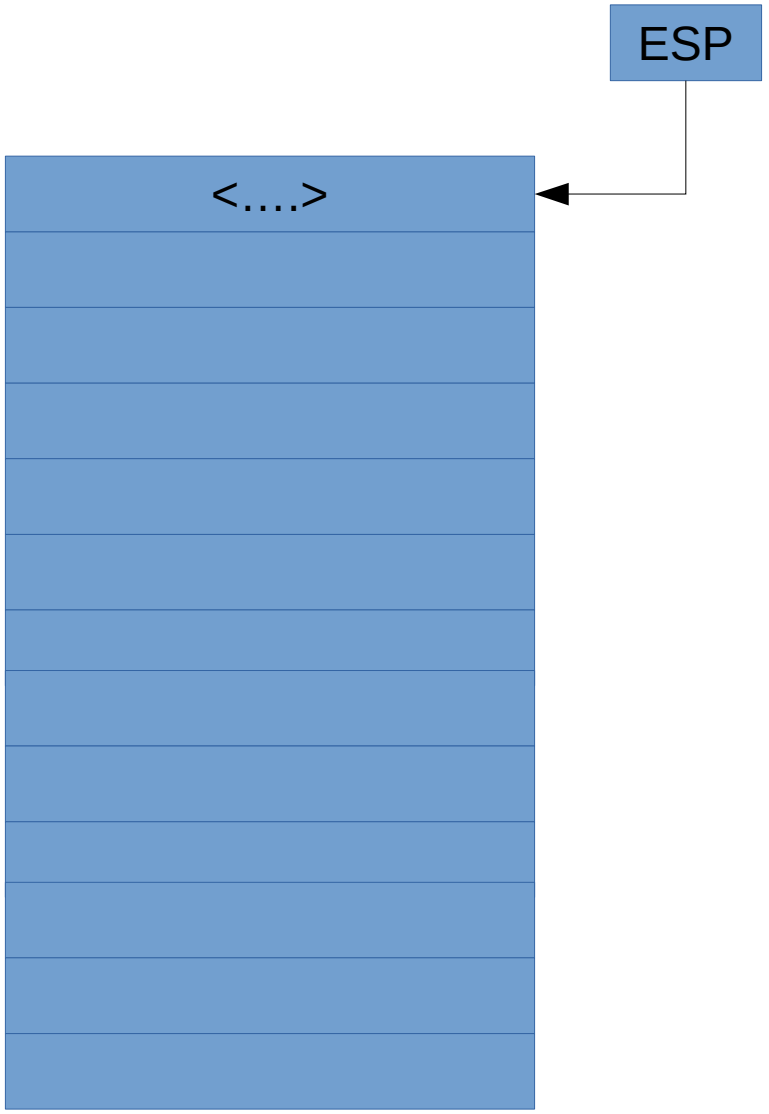
Добавление данных в стек происходит путем изменения адреса вершины стека и копирования данных по этому адресу.

Удаление данных происходит простым изменения адреса обратно.

После окончания вызова функции адрес вершины стека должен вернуться в то же значение, которое было до вызова функции. Работу со стеком полностью берет на себя компилятор.

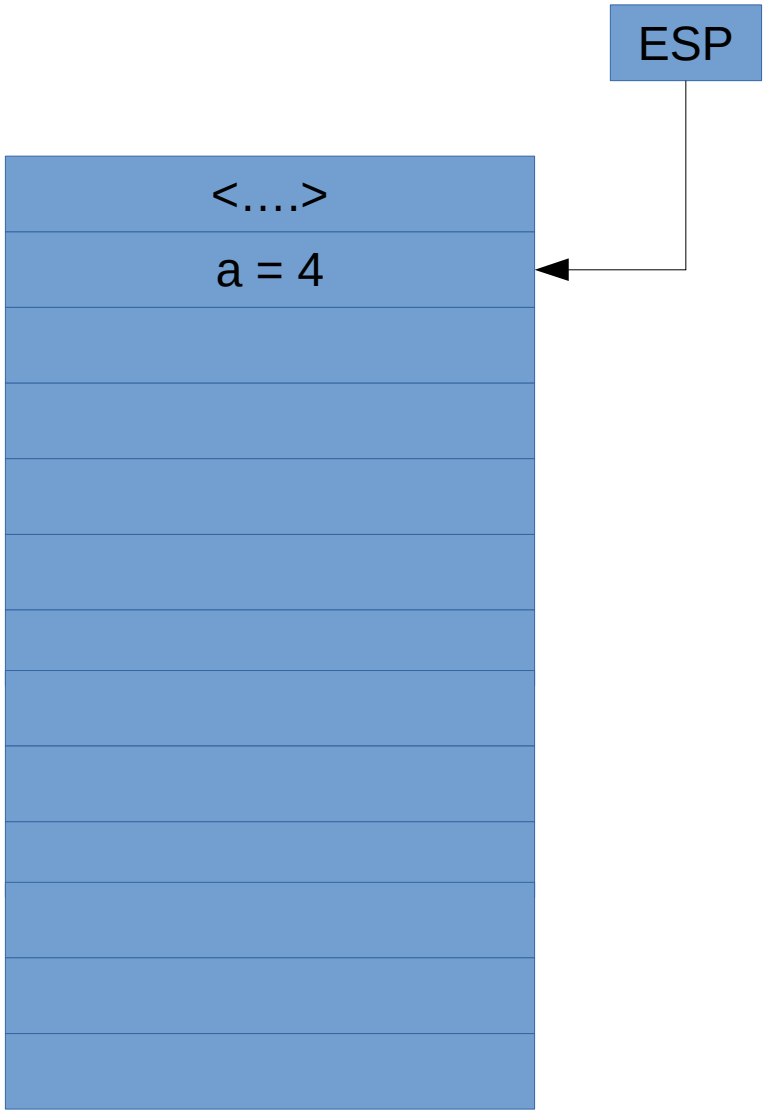
Аппаратный стек

```
20: int main()
21: {
22:     int a = 4;
23:     int b;
24:     b = pow(a, 2);
25:     printf("%d\n", b);
26:     return 0;
27: }
```



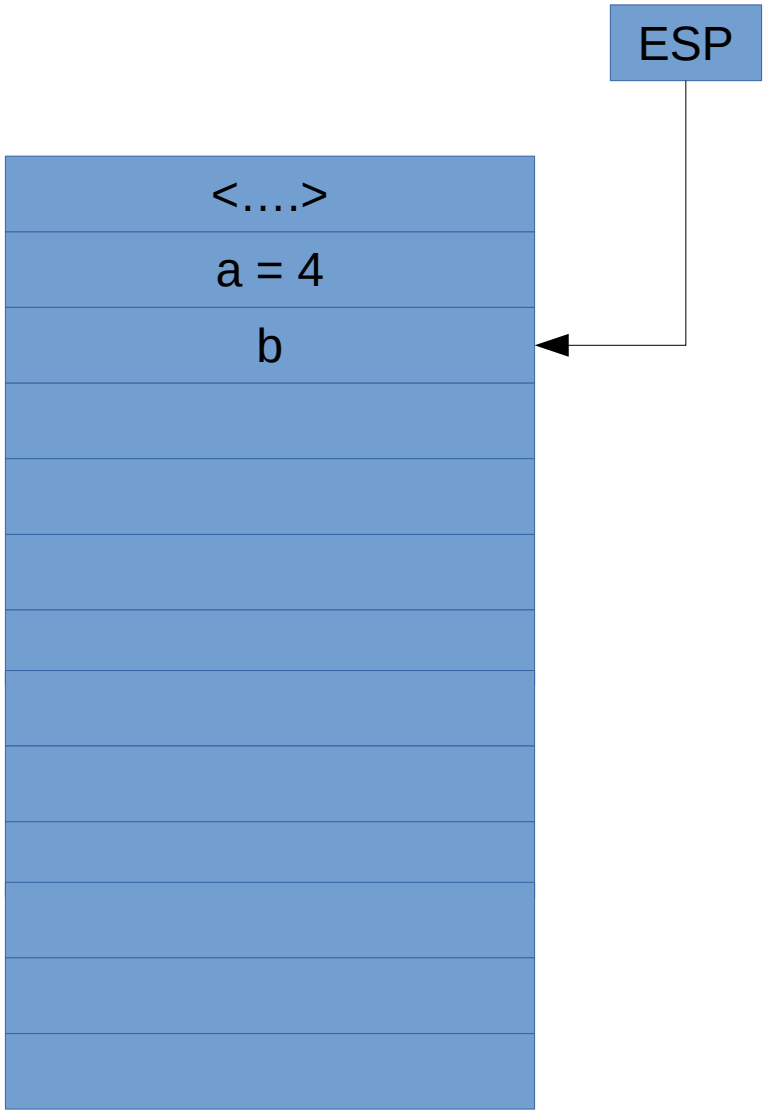
Аппаратный стек

```
20: int main()
21: {
22:     int a = 4;
23:     int b;
24:     b = pow(a, 2);
25:     printf("%d\n", b);
26:     return 0;
27: }
```



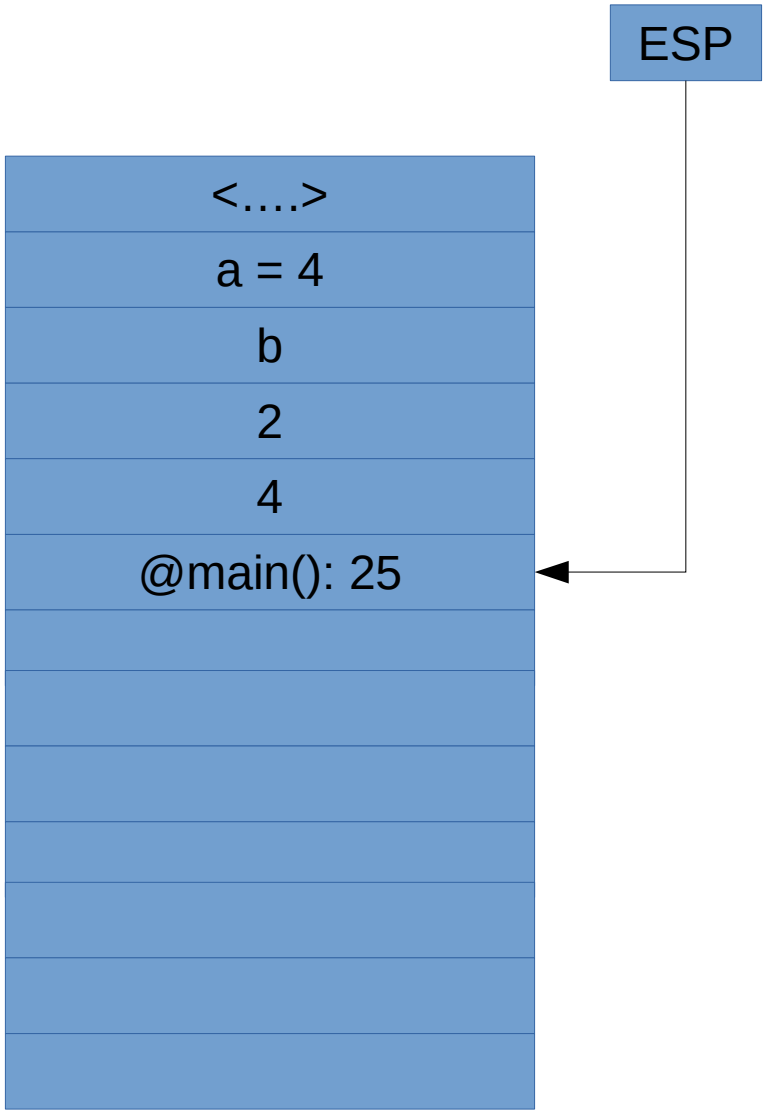
Аппаратный стек

```
20: int main()
21: {
22:     int a = 4;
23:     int b;
24:     b = pow(a, 2);
25:     printf("%d\n", b);
26:     return 0;
27: }
```



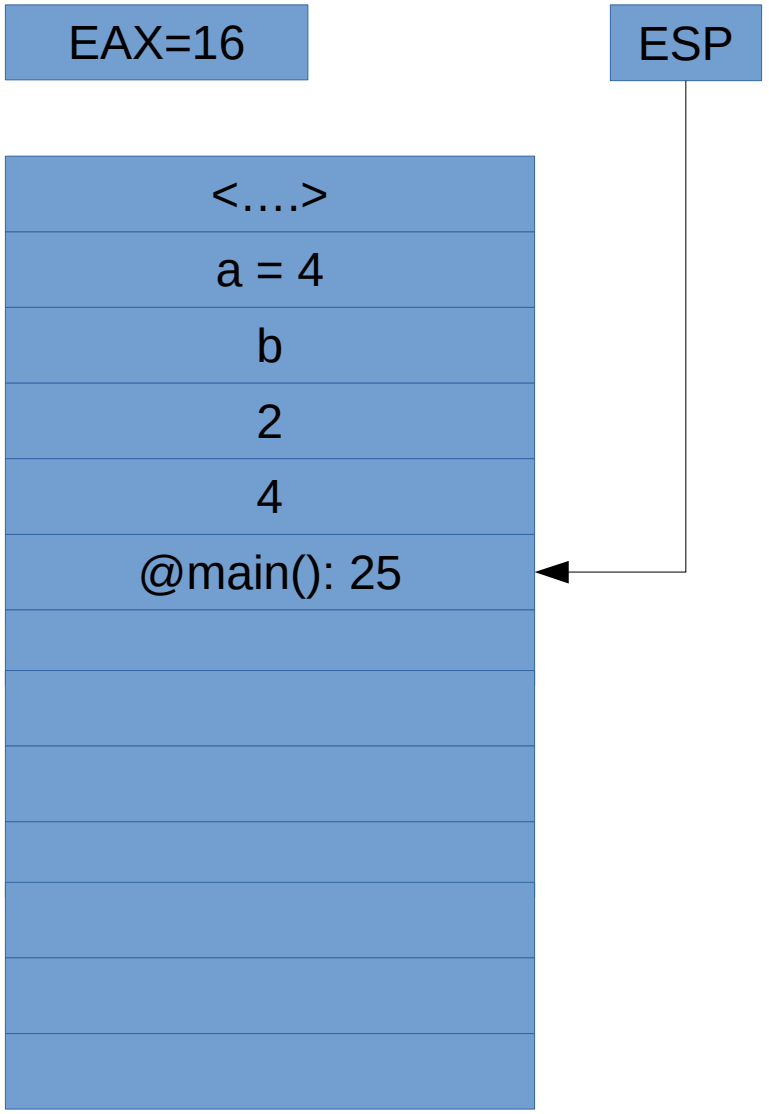
Аппаратный стек

```
20: int main()
21: {
22:     int a = 4;
23:     int b;
24:     b = pow(a, 2);
25:     printf("%d\n", b);
26:     return 0;
27: }
```



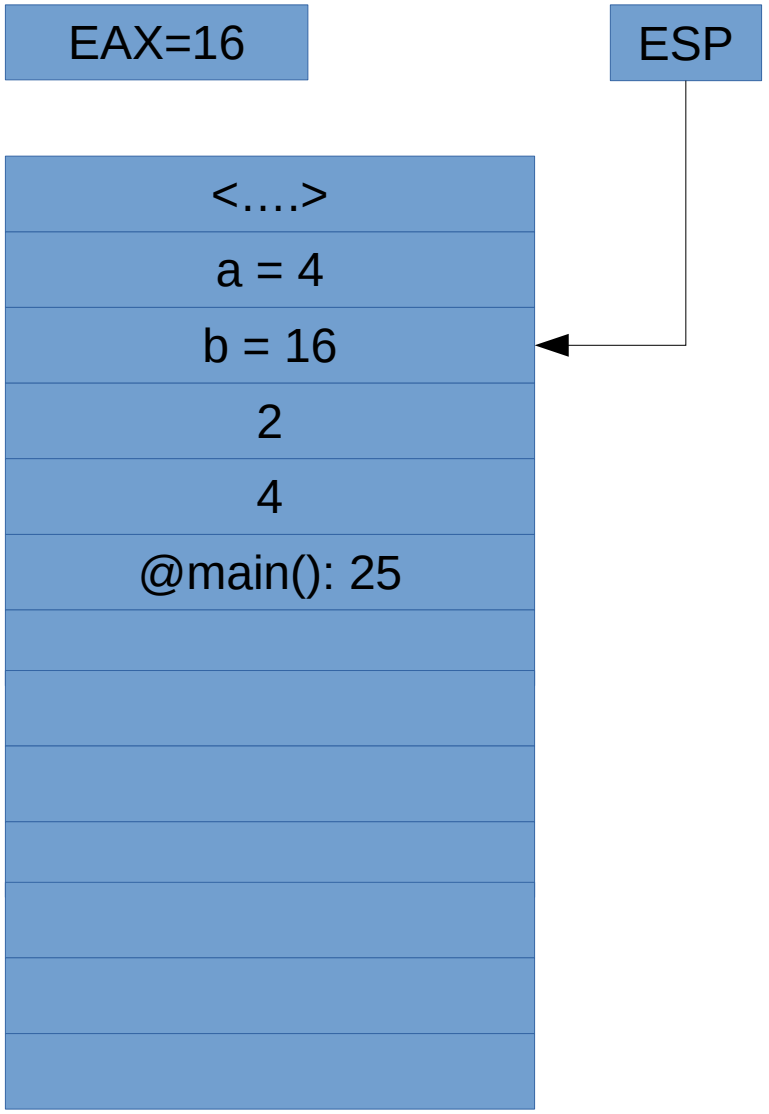
Аппаратный стек

```
20: int main()
21: {
22:     int a = 4;
23:     int b;
24:     b = pow(a, 2);
25:     printf("%d\n", b);
26:     return 0;
27: }
```



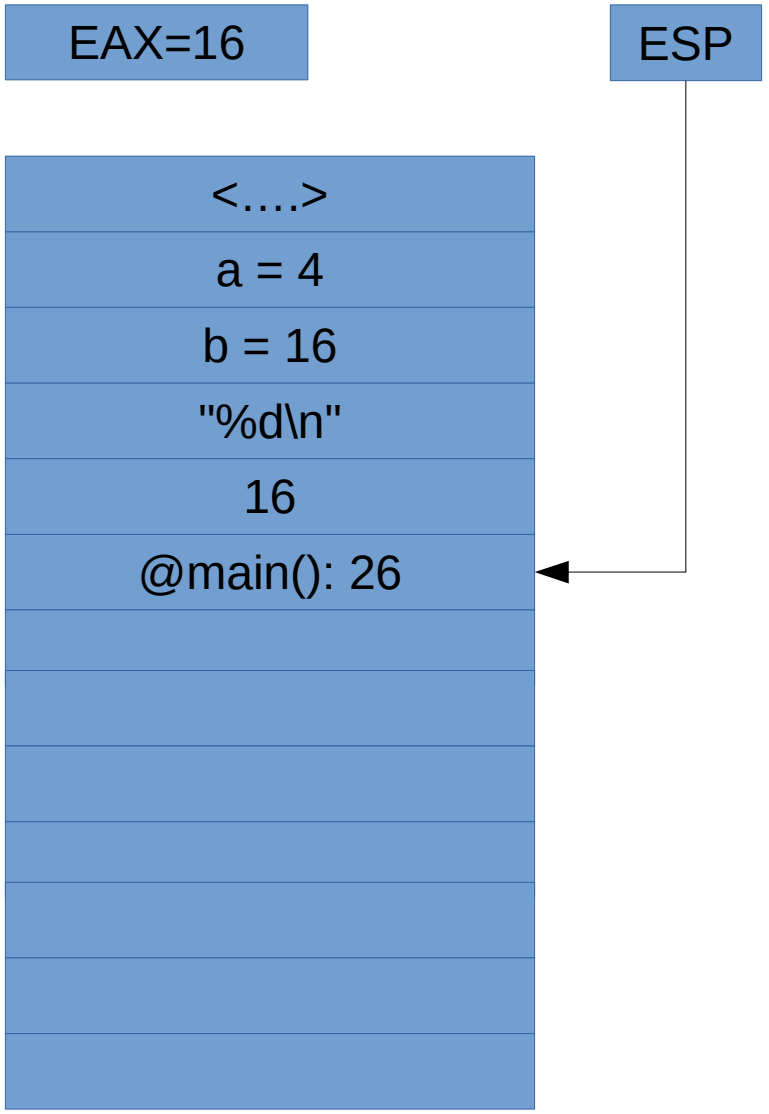
Аппаратный стек

```
20: int main()
21: {
22:     int a = 4;
23:     int b;
24:     b = pow(a, 2);
25:     printf("%d\n", b);
26:     return 0;
27: }
```



Аппаратный стек

```
20: int main()
21: {
22:     int a = 4;
23:     int b;
24:     b = pow(a, 2);
25:     printf("%d\n", b);
26:     return 0;
27: }
```



Стек вызовов

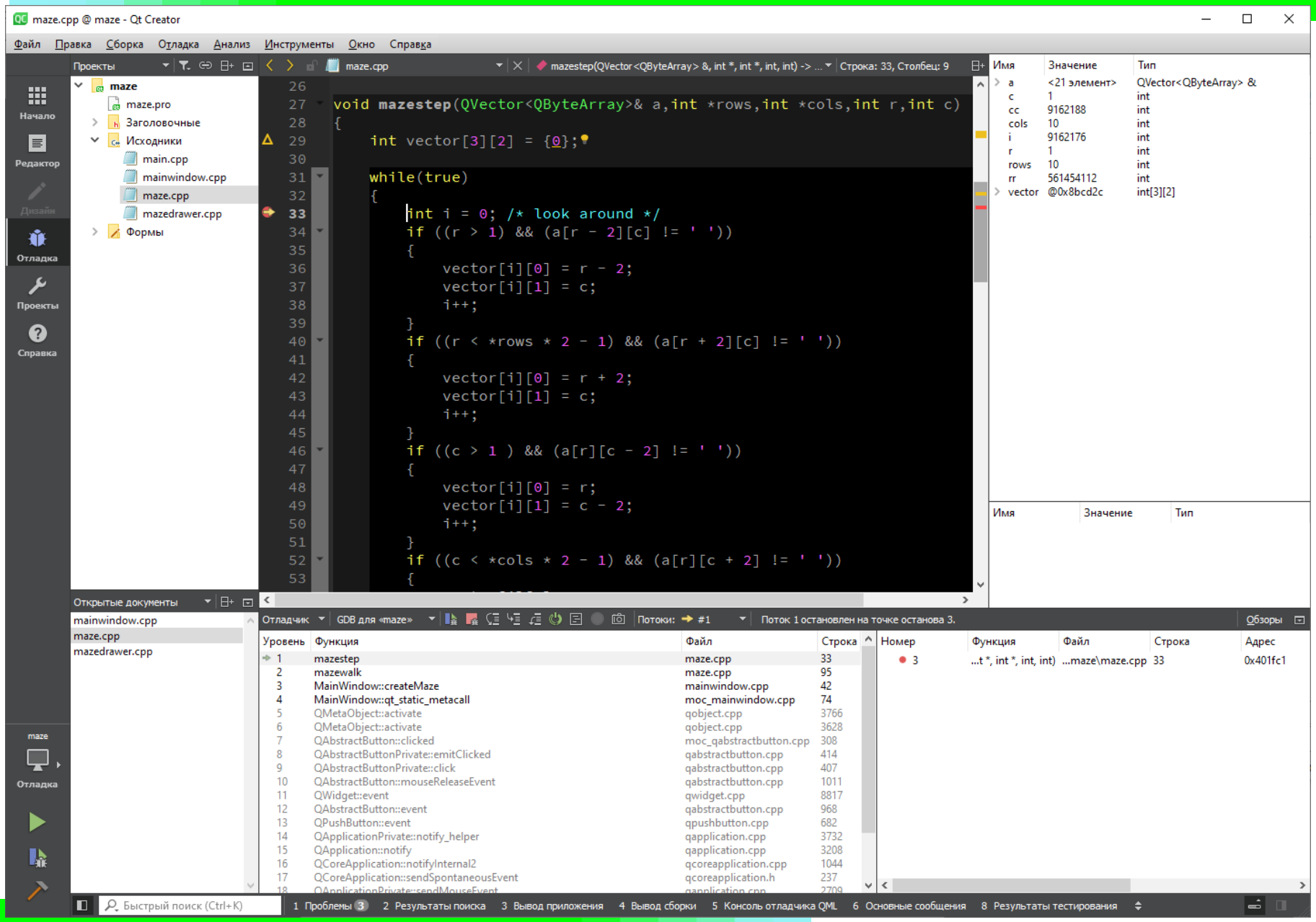
Отладчик работает в паре с компилятором и знает, в каком формате в аппаратном стеке хранятся аргументы и адреса возврата.

Это позволяет отладчику на основе информации в стеке составить **стек вызовов**. Он показывает последовательность вызова функций и передаваемые им аргументы, при помощи которых программа дошла до текущего места выполнения.

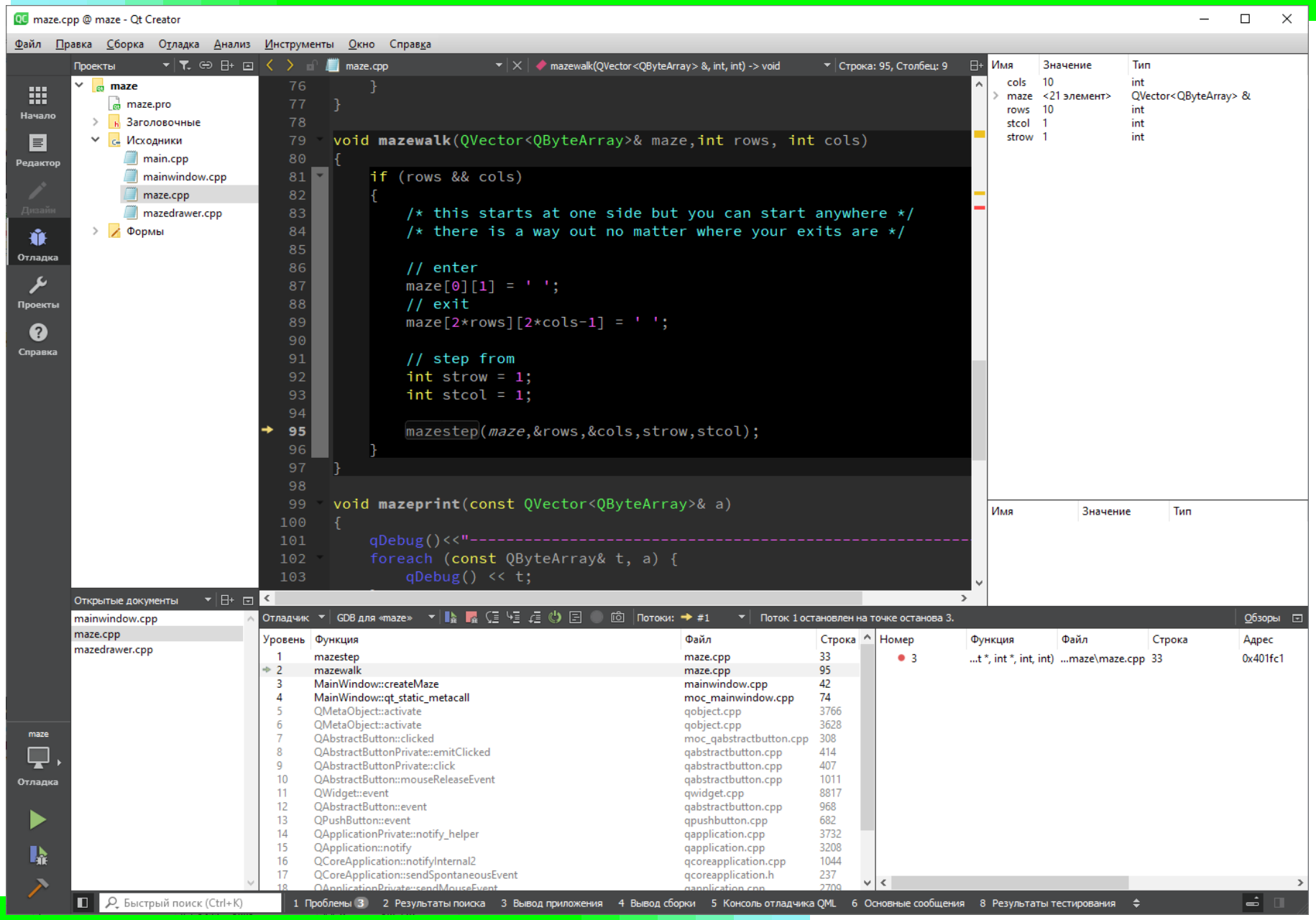
Стек вызовов доступен при постановке программы на паузу отладчиком.

Постановка на паузу может быть сделана вручную во время выполнения, либо автоматически при достижении определенной строки (breakpoint).

Стек вызовов



Стек вызовов



Программный стек

Программе, исполняемой интерпретатором, аппаратный стек недоступен. Вместо этого интерпретатор организует свой программный стек.

Вместо программных адресов используются номера строк в сценарии, к выполнению которых следует вернуться после завершения функции, а также свои соглашения о хранении аргументов и возвращаемых значений.

Программный стек может быть получен даже в процессе выполнения.

Также можно штатно обработать ошибку переполнения стека вызовов на уровне интерпретатора.

Программный стек

Пример иллюстрирует сценарий, который вызывает рекурсивно одну и ту же функцию до переполнения стека и ловит данную ошибку при помощи блока try ... except:

```
def rec(i):
    print("Recursion depth="+str(i))
    try:
        rec(i+1)
    except RuntimeError as re:
        print(re.args)

rec(0)
```

Результат запуска сценария:

```
<...>
Recursion depth=995
Recursion depth=996
('maximum recursion depth exceeded while calling a Python object',)
```

Применение рекурсии

- Обработка данных, сформированных в виде дерева (например, поиск файла в файловой системе).
- Алгоритмы обработки массивов, разделяющие массивы на части (например, быстрая сортировка).
- Расчет рекуррентных задач, в которых следующий шаг алгоритма равен предыдущему, но отличается начальными значениями.