

Обработка ошибок

Наумов Д.А., доц. каф. КТ

Основы программной инженерии, 2019

- 1 Обработка ошибок на основе механизма исключений
 - Варианты обработки ошибок, не связанных с исключениями
 - Обработка исключений

Обработка ошибок

Процесс обработки ошибки можно представить в виде последовательности, состоящей из трех действий:

- 1 Выявление ошибочной ситуации. Этап связан с особенностями предметной области и вытекающими из этих особенностей требованиям к данным и организации вычислительного процесса.
- 2 Генерация информации о возникновении ошибочной ситуации.
- 3 Обработка ошибки (определение действий в связи с выявленной ситуацией).

Основная сложность **не в том, как обнаружить ошибку**, а в том:

- как сообщить об этой ошибке отдельным модулям проекта;
- как определить набор действий, обрабатывающих ошибочную ситуацию в том случае, когда эта обработка не может быть осуществлена в пределах одной функции и даже в пределах отдельного модуля.

Обработка ошибок

Варианты обработки ошибок:

- Обработка ошибки на месте.
- Использование возвращаемых значений.
- Использование глобальных переменных или переменных-членов класса, исполняющих роль индикаторов состояния приложения или объекта.
- Использование специально разработанных функций.
- Использование функций обратного вызова (callback functions).
- Использование генерации и обработки исключений.

Обработка ошибок на месте

```
procedure QueueInt.Enqueue(Elem: integer); //Записать элемент
begin
    if length = size then begin
        write('Enqueue error. Queue is full.');
```

exit;

```
    end;
    last := (last+1) mod size;
    inc(length);
    body[last] := Elem;
end;
```

Обработка ошибок на месте

Недостатки:

- находясь в пределах области видимости функции, где была диагностирована ошибочная ситуация, мы можем не иметь доступа к данным и функциям, необходимым для корректной и полной обработки возникшей ситуации.
- трудность реализации обработки ошибок разного типа (например, ошибок, требующих или не требующих остановки выполнения программы).

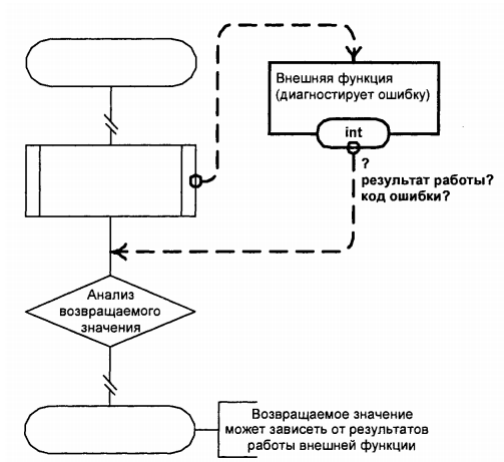
Обработка ошибок на месте затрудняет разработку унифицированных компонентов, которые могли бы использоваться в различных приложениях.

```
//Использование возвращаемого значения
const READ_OK = 0;
      ERROR_UNEXP_EOF = 1;
      ERROR_BAD_FORMAT = 2;

//функция чтения
procedure ReadData(var F: Text; var X: integer; var ErrorCode:
begin
  if EOF(F) then begin
    ErrorCode := ERROR_UNEXP_EOF;
    exit;
  end;
  {$I-} read(F, X);  {$I+}
  if IOResult <> 0 then begin
    ErrorCode := ERROR_BAD_FORMAT;
    exit;
  end;
  ErrorCode := READ_OK;
end;
```

```
ReadData(InputFile, InputData, ErrorCode);
case ErrorCode of
  ERROR_UNEXP_EOF: //обработка ошибки - EOF
    begin
      writeln('Error - end of file ', FileName);
      halt(2);
    end;
  ERROR_BAD_FORMAT: //обработка ошибки - неверные данные
    begin
      writeln('Error - bad format in', FileName);
      halt(3);
    end;
end;
writeln('X = ', InputData);
writeln('Terminated succesfully');
```


Возвращаемые значения как инструмент обработки ошибок



Возвращаемые значения как инструмент обработки ошибок

Недостатки:

- + использование возвращаемого значения позволяет разделить реализацию выявления ошибки от обработчика ошибки;
- - усложняется интерфейс функций, в которых диагностируется ошибка;
- - некоторые функции могут использовать возвращаемое значение для реализации элементов решения, не связанных с обработкой ошибок;
- - некоторые функции могут заканчиваться с разными кодами ошибок;
- - в ОО-программах невозможно сообщить об ошибке в ходе выполнения конструктора или деструктора, которые вообще не имеют возвращаемого значения.

Использование глобальных переменных

- функциональные модули взаимодействуют посредством использования разделяемого ресурса;
- в случае обнаружения ошибочной ситуации данной переменной присваивается определенное кодовое значение, которое может быть проанализировано за пределами функции, диагностировавшей ошибку;
- вместо возвращаемого значения используется обособленный интерфейс для взаимодействия функций в связи с обработкой ошибок.



```
const
```

```
    ErrorCode: integer = NONE;    //код ошибки, начальное состояние
```

```
//функция чтения из текстового файла
```

```
procedure ReadData(var F: Text; var X: integer);
```

```
begin
```

```
    if EOF(F) then begin
```

```
        ErrorCode := ERROR_UNEXP_EOF;
```

```
        exit;
```

```
    end;
```

```
    {$I-} read(F, X); {$I+}
```

```
    if IOResult <> 0 then begin
```

```
        ErrorCode := ERROR_BAD_FORMAT;
```

```
        exit;
```

```
    end;
```

```
    ErrorCode := READ_OK;
```

```
end;
```

```
ReadData(InputFile, InputData);
case ErrorCode of
  ERROR_UNEXP_EOF: //обработка ошибки - EOF
    begin
      writeln('Error - end of file ', FileName);
      halt(2);
    end;
  ERROR_BAD_FORMAT: //обработка ошибки - неверные данные
    begin
      writeln('Error - bad format in', FileName);
      halt(3);
    end;
end;
ErrorCode := PASSED;
```

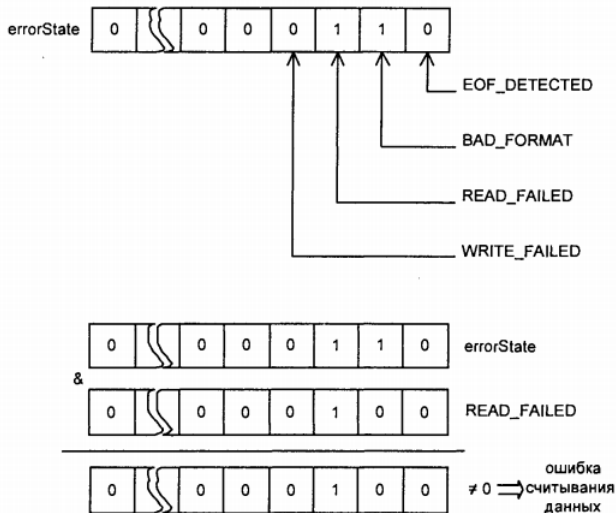
```
const READ_OK           = 0;  
      ERROR_UNEXP_EOF    = 1;  
      ERROR_BAD_FORMAT   = 2;  
      ERROR_READ_FAILED  = 4;  
      ERROR_WRITE_FAILED = 8;  
      ErrorState: integer = 0;
```

Установка кода ошибки чтения в связи с некорректным форматом данных:

```
if IOResult <> 0 then begin  
    ErrorCode := ERROR_BAD_FORMAT or ERROR_READ_FAILED;  
    exit;  
end;
```

Функция проверки ошибки чтения:

```
function IsBadFormat(): boolean;  
begin  
    Result := ErrorState and ERROR_BAD_FORMAT;  
end;
```

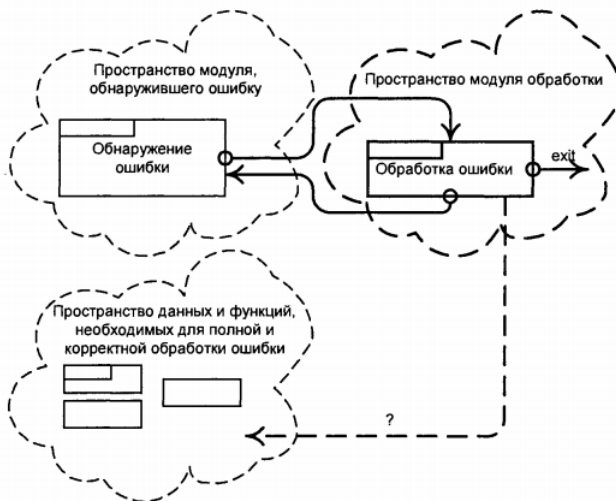


Использование специально разработанных функций

При возникновении ошибочной ситуации функция, диагностировавшая эту ситуацию, просто вызывает подходящую функцию-обработчик, передавая ей код ошибки.

- + коды ошибок обычно глобальны на уровне проекта и должны тщательно документироваться.
- + обычно реализуется отдельный модуль обработчика ошибок;
- - не очень подходит для реализации многоуровневых систем обработки ошибок;
- - подход не всегда может обеспечить универсальный характер обработки ошибочных ситуаций.

Использование специально разработанных функций



Использование функции обратного вызова

Пользователь функции-обработчика ошибок в этом случае должен сначала зарегистрировать функцию обратного вызова, определенную в том модуле, в котором имеется доступ к данным, необходимым для корректной и полной обработки возникшей ситуации.

```
type
```

```
  TCallbackProc = procedure;
```

```
  TErrors = array[0..4] of string;
```

```
const
```

```
  ERROR_MSG: TErrors = (  
    '',  
    'Error while opening input file',  
    'Error while opening output file',  
    'Input file contains no data',  
    'Wrong input data format');
```

Использование функции обратного вызова

```
procedure Error(ErrorCode: integer; CallbackProc: TCallbackProc)
begin
    writeln('Error No', ErrorCode, ' ', ERROR_MSG[ErrorCode]);
    if CallbackProc = nil then
        halt(0)
    else
        CallbackProc();    //Вызов внешнего обработчика
end;
// Реализация первого варианта завершения программы
procedure Terminate1();
begin
    writeln('Unexpected end of input file');
    writeln('Terminated with error');
    Close(InputFile);
    halt(1);
end;
```

Использование функции обратного вызова

```
if IOResult <> 0 then
    Error(2, @Terminate0);

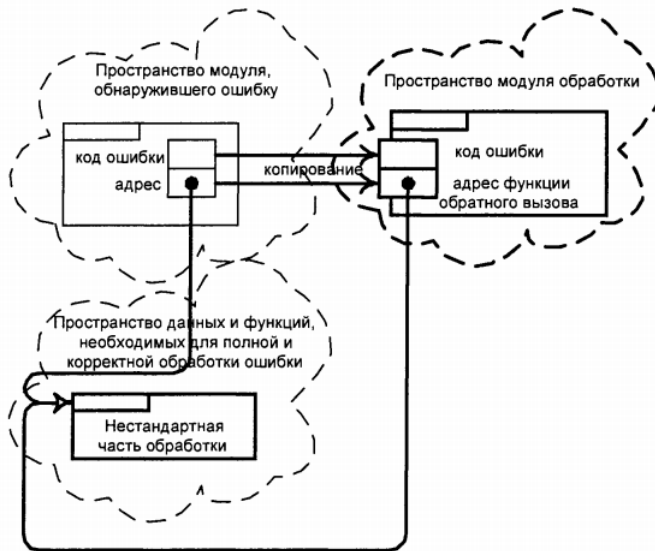
ReadData(InputFile, InputData);

if IsEOF then
    Error(3, @Terminatel)
else if IsBadFormat() then
    Error(4, @Terminate2);

writeln('X = ', InputData);
writeln('Terminated succesfully');

Close(InputFile);
Error(0, nil);
```

Использование функций обратного вызова



Использование функций обратного вызова

- + механизм с использованием функций обратного вызова частично разрешает проблему «разграничения полномочий» при обработке ошибок;
- - сигнатура функций обратного вызова должна в точности соответствовать сигнатуре, объявленной в модуле обработки ошибок;
- - механизм не может считаться полноценной реализацией многоуровневой модели.

Исключения

Исключительная ситуация

возникает при ошибке или прерывании нормального хода выполнения программы каким-либо событием.

- Исключение передает контроль выполнения программы обработчику исключительной ситуации, который позволяет отделить нормальную логику работы программы от обработки ошибок.
- Поскольку исключения являются объектами, они могут быть сгруппированы в иерархию, использующую наследование, а новые исключения могут объявляться без изменения уже готового кода.
- Исключение может передавать информацию (например, сообщение об ошибке) из точки возникновения исключительной ситуации к месту ее обработки.

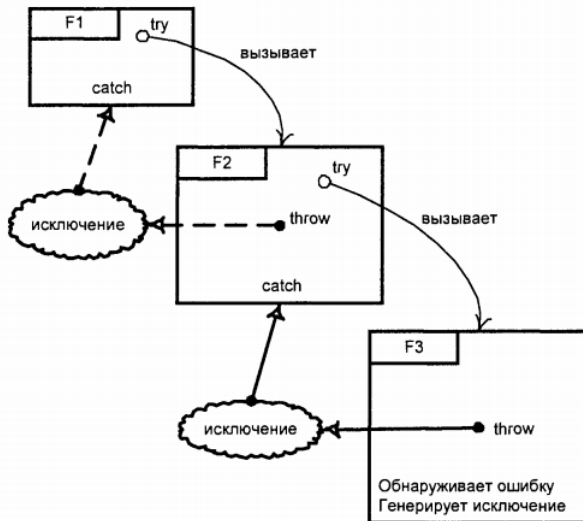
Исключения

Механизм обработки ошибок - механизм, встроенный в язык программирования. Программисту предоставляются:

- встроенные типы исключений
 - исключения, вызываемые переполнением при выполнении арифметических операций,
 - исключения, вызываемые выходом индекса массива за пределы корректного диапазона) и т.д.
- возможности для определения собственных исключительных ситуаций.

Впервые поддержка обработки исключений средствами языка была реализована в языке PL/1

Основная идея подхода



Основная идея подхода

- Пусть функция $F2()$ в иерархии вызовов передает управление другой функции $F3()$.
- В ходе работы функции $F3()$ выявляется некоторая ошибочная ситуация (т. е. функция $F3()$ обнаруживает ошибку).
- Функция, обнаружившая ошибку, генерирует (throws, raise) специальный объект, описывающий возникшую исключительную ситуацию ($F3$ создает объект-исключение).
- Выполнение функции, обнаружившей ошибку, прекращается, и управление передается в вызвавшую ее функцию ($F2$) для реализации действий по преодолению возникшей проблемы ($F2$ перехватывает (catches) исключение).
- Обработкой исключения может заниматься как функция, непосредственно вызвавшая функцию-генератор исключения, так и предшествующие в иерархии вызовов функции (например, $F1()$).

Исключение

Генерация исключения представляет собой создание объекта-исключения. Объект характеризуется типом, например:

```
{ $mode objfpc } //разрешаем использовать объекты Free Pascal
uses
    SysUtils;    //подключаем модуль, где содержатся
                  // описания исключений
type
    //описываем свой класс для обработки исключений
    EMyException = class(Exception)
    public
        constructor Create();
    end;
```

Исключение

Для инициирования исключения вам необходимо использовать экземпляр класса исключения с инструкцией *raise*:

```
raise ExceptionClass.Create;
```

Синтаксическая форма инструкция инициирования исключения в общем виде имеет следующий вид:

```
raise [ExceptionObject] [at Address]
```

- ExceptionObject - экземпляр класса исключения;
- Address - выражение, которое можно обработать как указатель.

```
raise Exception.Create('Missing parameter') at @MyFunction;
```

Блок, обнаруживающий ошибку, инициирует процесс создания объекта исключения:

```
procedure F3();  
begin  
    if /* ошибка... */ then  
        raise EMyException.Create(); // Генерирует исключение  
        // Действия при отсутствии ошибок  
    end
```

Вызывающая подпрограмма может перехватить исключение и выполнить обработку ошибки:

```
procedure F2();  
begin  
    try  
        F3(); // Может генерировать исключение  
    except  
        on EMyException do ... // Обработка ошибки  
    end;
```

end;

Синтаксис инструкции try...except:

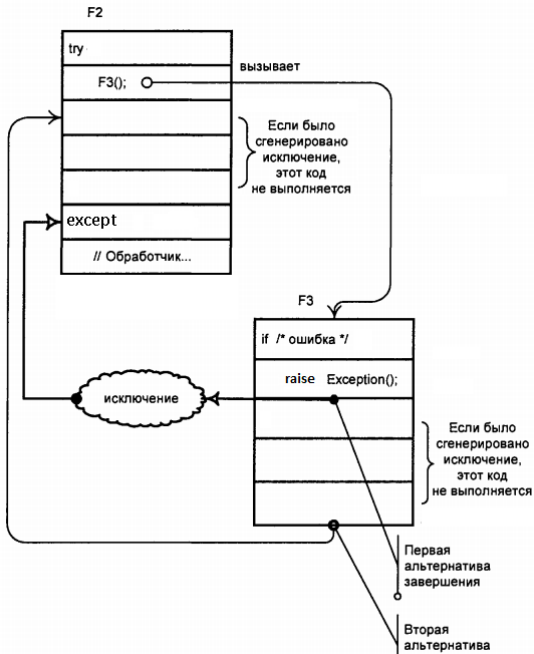
```
try
    Statements
except
    ExceptionBlock
end
```

- Statements - группа операторов;
- ExceptionBlock - блок обработки исключения
 - может быть еще одной последовательностью инструкций;
 - может быть последовательностью обработчиков исключений, разделяемых инструкциями else.

Обработчик исключения имеет вид:

```
on Identifier: IdentifierType do Statement
```

- identifier: необязателен (если присутствует – может быть любым допустимым идентификатором),
- IdentifierType – тип для представления исключений,
- statement – оператор языка.



- ❶ Инструкция `try...except` выполняет команды из изначального списка. Если исключительных ситуаций не возникло, блок исключений игнорируется и управление передается следующей части программы.
- ❷ Если в процессе выполнения списка команд возникла исключительная ситуация (она может быть инициирована инструкцией `raise` в списке команд или внутри процедуры или функции, вызываемой из этого списка) предпринимается попытка обработки исключительной ситуации:
- ❸ Если какой-либо из обработчиков в *exception block* подходит для обработки инициированного исключения, управление передается первому такому обработчику. Обработчик подходит для исключения только в том случае, когда тип, указанный в нем, является типом исключения или предком его класса.
- ❹ Если обработчика не найдено, управление передается инструкции в секции *else* (если таковая присутствует).

- 5 Если блок обработчиков – это просто последовательность инструкций без каких либо обработчиков – управление передается первой инструкции в этой последовательности.
- 6 Если ни одно из указанных выше условий не выполнено, поиск продолжается в блоке обработчиков внешней инструкции *try...except*, выход из которой еще не выполнен. Если и там не находится соответствующего обработчика, секции *else* или последовательности инструкций, поиск продолжается в следующей внешней инструкции и так далее.
- 7 Если в самой внешней инструкции исключительная ситуация не будет обработана – приложение завершается.

В следующем примере первый обработчик обрабатывает исключение деления на ноль, второй – ошибки переполнения, а последний – остальные математические исключения. SysUtils.EMathError указан последним в блоке обработчиков, так как он является предком обоих этих классов. Если бы он указан первым, последующие обработчики никогда не были бы вызваны:

```
try
    ...
except
    on EZeroDivide do HandleZeroDivide;
    on EOverflow do HandleOverflow;
    on EMathError do HandleMathError;
end;
```

В обработчике исключения перед именем класса исключения можно указать идентификатор. Таким образом объявляется идентификатор для представления объекта исключения в процессе выполнения инструкции, следующей за `on...do`. Видимость идентификатора ограничивается этой инструкцией. Например:

```
try
    ...
except
    on E: Exception do ErrorDialog(E.Message, E.HelpContext);
end;
```

Если блок исключения имеет секцию `else`, в этой секции происходит обработка всех исключений, которые не были обработаны в блоке обработчика исключения. То есть:

```
try
    ...
except
    on EZeroDivide do HandleZeroDivide;
    on EOverflow do HandleOverflow;
    on EMathError do HandleMathError;
else
    HandleAllOthers;
end;
```

В этом примере секция `else` обрабатывает все исключения, не являющимися `SysUtils.EMathError`.

Блок исключения, не содержащий обработчиков, но содержащий список инструкций, обрабатывает любые исключения. Например:

```
try
    ...
except
    HandleException;
end;
```

Здесь подпрограмма `HandleException` обрабатывает все исключительные ситуации, которые возникают при выполнении инструкций между `try` и `except`.

- Если в контексте работы функции F2() исключение не может быть обработано полностью, эта функция может инициировать повторное исключение с тем, чтобы оно было обработано на следующих уровнях иерархии вызовов:

```
procedure F2()  
begin  
  try  
    F3(); // Может генерировать исключение  
  except  
    on EMyException do  
      begin  
        // Частичная обработка ошибки  
        // ...  
        raise;  
      end;  
    end;  
  end;  
end;
```

Код, выполняемый в обработчике исключения может сам инициировать и обрабатывать исключительные ситуации. Поскольку исключения обрабатываются внутри обработчика, они не оказывают влияния на первичное исключение. Тем не менее, если исключение инициированное внутри обработчика, не обрабатывается в нем, первичное исключение теряется.

```
type
  ETrigError = class(EMathError);
function Tan(X: Extended): Extended;
begin
  try
    Result := Sin(X) / Cos(X);
  except
    on EMathError do
      raise ETrigError.Create('Invalid argument to Tan');
    end;
  end;
```

Иногда вам необходимо быть уверенными, что некоторые части операции выполнены, вне зависимости от того, прерывается ли выполнение операции исключением или нет. Например, если подпрограмма получает управление ресурсом, важно чтобы память, которую он занимает, была освобождена несмотря на то, что подпрограмма завершается ошибкой. В таких ситуациях вы можете использовать инструкцию `try...finally`.

```
Reset(F);  
try  
    ... // process file F  
finally  
    CloseFile(F);  
end;
```


Синтаксис инструкции `try...finally` выглядит следующим образом:

```
try statementList1 finally statementList2 end
```

- ❶ Инструкция `try...finally` выполняет инструкции в `statementList1` (секция `try`).
- ❷
 - Если выполнение `statementList1` завершается без ошибок, выполняется `statementList2` (секция `finally`).
 - Если в процессе выполнения `statementList1` возникает исключительная ситуация, управление передается в `statementList2`, когда `statementList2` завершает свою работу исключение иницируется повторно.
 - Если в процессе выполнения `statementList1` происходит вызов процедур `Exit`, `Break` или `Continue` – управление выходит из `statementList1`, `statementList2` выполняется автоматически. Секция `finally` выполняется всегда, вне зависимости от того, как завершается работа секции `try`.
 - Если в секции `finally` возникает исключительная ситуация, которая не обрабатывается, исключение выводится из инструкции `try...finally`, а исключение, инициированное в секции `try`, разрушается.

Преимущества встраивания в язык обработки исключительных ситуаций

- Без обработки исключений код, необходимый для обнаружения ошибок, может сильно запутать программу.
- Возможность передавать исключительные ситуации для обработки в другие модули.
- Язык поощряет программиста рассматривать все события, которые могут возникнуть в процессе выполнения программы, а не игнорировать их в надежде на то, что "ничего плохого не случится".

- Предпочтительнее использовать в качестве типов исключений типы, определяемые пользователем
- В классе исключения можно реализовать часть функциональности в связи с обработкой данного типа исключения, например, получение описания исключительной ситуации.

type //классы исключений

```
EmptyFileException = class(Exception) end;//пустой файл
```

```
BadFormatException = class(Exception) end;//ошибка формата
```

```
procedure ReadData(var F: Text; var X: integer);
```

```
begin
```

```
  if EOF(F) then
```

```
    raise EmptyFileException.Create('EmptyFileException');
```

```
  try
```

```
    read(F, X);
```

```
  except
```

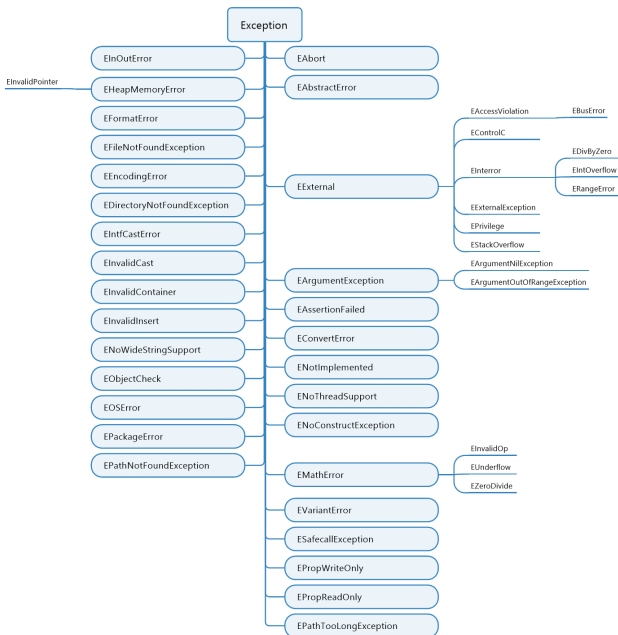
```
    raise EmptyFileException.Create('EmptyFileException');
```

```
  end;
```

```
end;
```

```
try
    assign(InputFile, FileName);
    reset(InputFile);
except
    //обработка ошибки открытия файла
    on EInOutError do
        begin
            writeln('Cannot open file');
            readln;
            halt(1);
        end;
end;
```

```
try
  ReadData(InputFile, InputData);
except
  on EmptyFileException do
    begin
      // Обработка ошибки пустого файла
    end;
  on BadFormatException do
    begin
      // Обработка ошибки формата данных файла
    end;
end;
```



Динамическое выделение памяти, процедура New

```
procedure New(  
  var P: Pointer  
);
```

Что происходит, если нет доступной памяти в куче?

- если значение переменной ReturnNilIfGrowHeapfails = true, то указатель получает значение nil
- если значение переменной ReturnNilIfGrowHeapfails = false, то генерируется исключение EHeapMemoryError

Конструкторы и исключения

Два случая возникновения исключений в конструкторах:

- *обнаружением ошибочной ситуации непосредственно в конструкторе*, т. е. инструкция `throw` находится в теле конструктора.
- конструктор обращается к некоторой функции, в ходе исполнения которой может быть выброшено "неизвестное" исключение.
- если до обнаружения ошибки в конструкторе осуществлялся захват какихлибо ресурсов (например, резервирование динамической памяти), следует восстановить исходное положение до вызова конструктора с целью избежания утечек памяти.
- следует избегать завершения работы деструктора посредством генерации исключения.

Будет ли вызван деструктор, если в конструкторе сгенерировать исключение?