Глава 5
Генерация кода

5.1 Генерация внутреннего представления программы4.1.1 Общая схема распознавателя

- ***5.1.1 Язык внутреннего представления программы***
- ***5.1.2 ПОЛИЗ***

5.2 Синтаксически управляемый перевод

- ***5.2.1 Генерация внутреннего представления арифметического выражения***
- ***5.2.2 Трансляция кода для интерпретации***
- ***5.2.3 Генерация кода для оператора READ***
- ***5.2.4 Генерация кода для оператора IF***
- ***5.2.5 Генерация кода для цикла WHILE***
- ***5.2.6 Генерация кода для цикла FOR***
- ***5.2.7 Генерация кода для оператора CASE***
- ***5.2.8 Генерация кода для цикла с постусловием REPEAT***

5.1 Генерация внутреннего представления программы

- Результатом работы синтаксического анализатора должно быть некоторое представление программы, которое отражает ее синтаксическую структуру.
- Программа в таком представлении дальше может либо интерпретироваться либо транслироваться в объектный код.

5.1.1 Язык внутреннего представления программы

- Свойства:
  - Он позволяет фиксировать синтаксическую структуру программы.
  - Текст на нем можно автоматически генерировать на этапе синтаксического разбора.
  - Его конструкции должны достаточно просто транслироваться в объектный код либо достаточно эффективно интерпретироваться.

5.1.1 Язык внутреннего представления программы

- Некоторые общепринятые способы внутреннего представления программы:
  - Постфиксная запись;
  - Префиксная запись;
  - Многоадресный код с неявно именуемыми результатами (триады);
  - Многоадресный код с явно именуемыми результатами (тетрады);
  - Связные списочные структуры, представляющие деревья операций.

Пример

<stmt> ::= <id> := <expr>

<expr> ::= <expr> + <term> | <term>

<term> ::= <term> * <factor> | <factor>

<factor> ::= (<expr>) | <id>

A:=B*C+D

ABC*D+:=

Польская инверсная запись

*, B, C

+, (1), D

:=, (2), A

Триады

*, B, C, t1

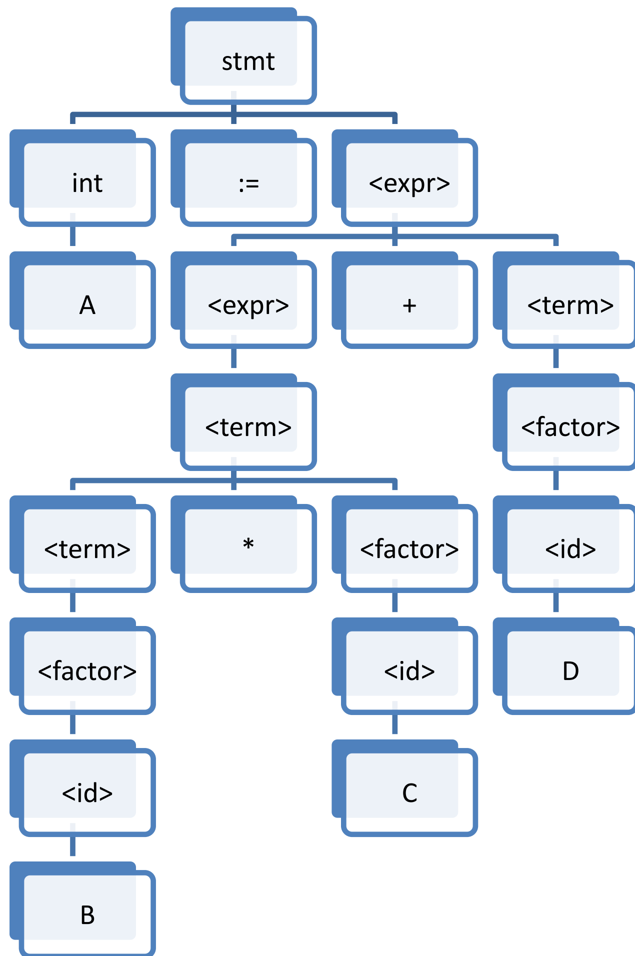
+, t1, D, t2

:=, t2, null, A

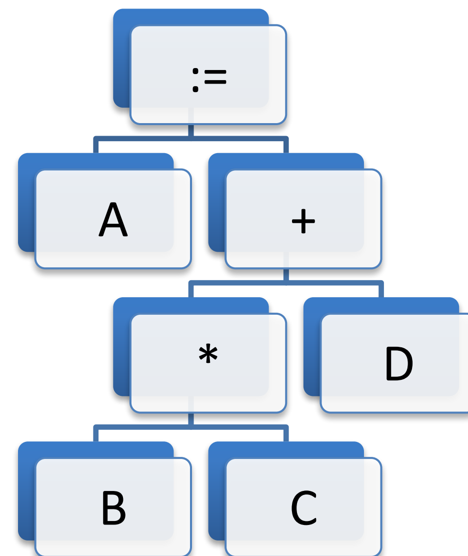
Тетрады

Пример

Дерево синтаксического разбора



Дерево операций



5.1.2 ПОЛИЗ

- В полизе операнды выполняются слева направо в порядке их следования (в инфиксной записи), знаки операций размещают таким образом, что знаку операции непосредственно предшествуют операнды, скобки отсутствуют.

  a*(b-c)/d-(e+f)*g
  ПОЛИЗ: abc-*d/ef+g*-

- Формальное определение постфиксной записи:
  - Если E – единственный операнд, то полизом такого выражения будет этот операнд
  - Если есть выражение вида E_1 ϴ E_2, где ϴ – бинарная операция, то E_1' E_2' ϴ, где E_1', E_2' – полизы E_1 и E_2.
  - Если ϴ E, где ϴ – знак унарной операции, то E' ϴ, где E' – полиз E.
  - Полизом выражения (E) будет E', где E' – полиз E.

5.1.2 ПОЛИЗ

Алгоритм интерпретации Полиза.

Используем стек, выражения читаем слева направо. Если очередным элементом полиза является операнд, то заталкиваем в стек. Если операция, то из стека выталкиваем необходимое количество операндов, проводим вычисления и результат заталкиваем в стек.

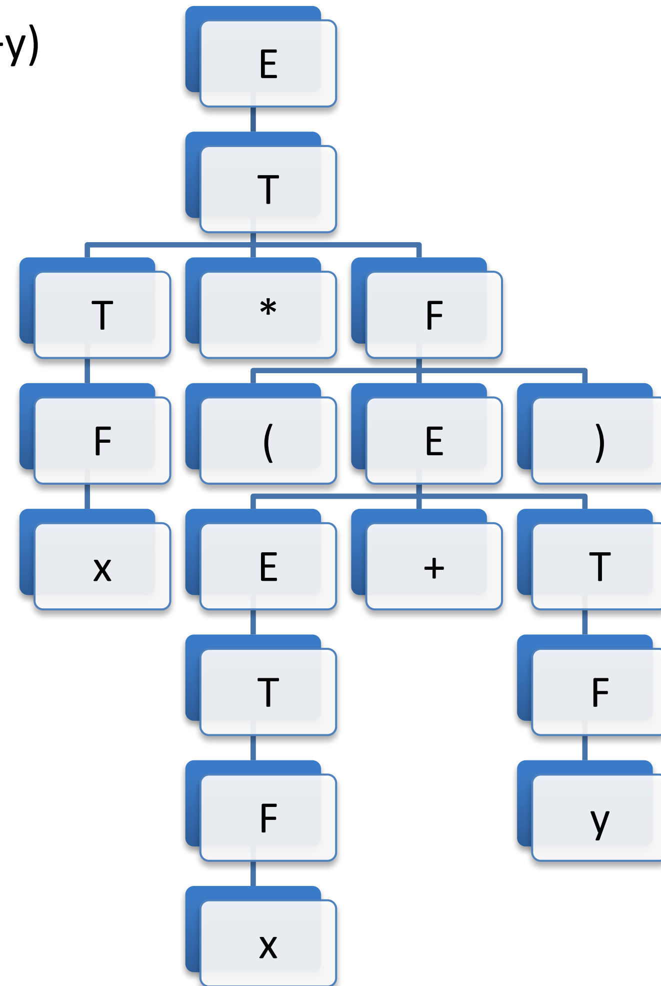
5.2 Синтаксически управляемый перевод

- На практике синтаксический, семантический анализ и генерация внутреннего представления программы осуществляется одновременно. Существует несколько способов, один из них – синтаксически управляемый перевод.
- В основе СУ – перевода лежит способ сопоставления правилам грамматики соответствующих процедур генерации (семантические подпрограммы).

5.2.1 Генерация внутреннего представления арифметического выражения

1	E -> E+T	printf (“+”)	
2	E -> T		
3	T -> T * F	printf (“*”)	
4	T -> F		
5	F -> (E)		
6	F -> x	printf (“x”)	
7	F -> y	printf (“y”)	

x*(x+y)



5.2.1 Генерация внутреннего представления арифметического выражения

- Левосторонний вывод

E => T => T*F =>F*F => x*F => x*(E) => x*(E+T) => x*(T+T) => x*(F+T) => x*(x+T) => x*(x+F) => x*(x+y)

2 3 4 6 5 1 2 4 6 4 7

  *   x   +   x   y   префиксная запись

- Правосторонний вывод

E => T => T*F => T*(E) => T*(E+T) => T*(E+F) => T*(E+y) => T*(T+y) => T*(F+y) => T*(x+y) => F*(x+y) =>x*(x+y)

6 4 6 4 2 7 4 1 5 3 2

x   x   y   +   *   постфиксная запись

5.2.2 Трансляция кода для интерпретации

1	E -> E+T	printf (“+”)	[call xADD] add esp,8 push eax
2	E -> T		
3	T -> T * F	printf (“*”)	[call xMUL] add esp,8 push eax
4	T -> F		
5	F -> (E)		
6	F -> x	printf (“x”)	push x
7	F -> y	printf (“y”)	push y

5.2.2 Трансляция кода для интерпретации

```
xADD proc near
  pop  bp; адрес возврата
  pop  ax;  первый операнд
  pop  bx;  второй операнд
  ADD  ax,bx;  сложение
  Push   ax;  результат в стек
  Push   bp;  адрес возврата в
стек
 ret          ;   возврат
xADD  endp
```

Для выражения x(x+y)*

```
push x
push x
push y
call xADD
add esp, 8
push eax
call xMULL
add esp, 8
push eax
```

5.2.2 Трансляция кода для интерпретации

- Про операцию присвоения

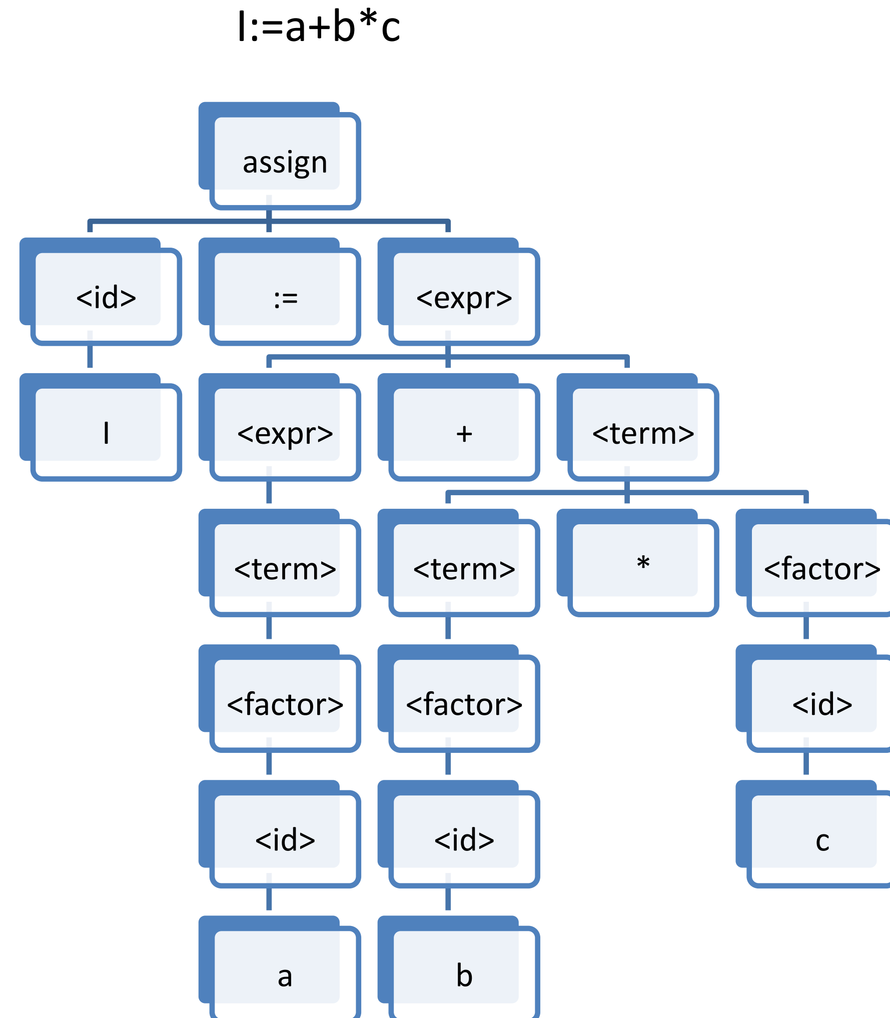
I := E

В полизе IE':= ,

где I – адрес, E' – полиз E

Правило	Процедура генерации
1. <assign>::=<id>:=<exp>	[call xASSIGN]
2. <id>::=id	[push offset ID]

```
proc xASSIGN
    pop bp
    pop ax
    mov [bx],ax
    push bp
ret
```



Пример написания семантических процедур

Дана грамматика для описания дробных чисел с точкой. Обеспечить перевод числа таким образом, чтобы целая часть стала дробной, а дробная – целой.

1 <десят. с фиксир. точкой> := <целое> <.> <целое>

2 <.> := .

3 < целое > := <целое> <цифра>

4 < целое > := <цифра>

5 <цифра> := 0 | 1 | … |9

```
0 { int f=0; }
2 { f=1; }
5 { if (f) printf(“%c”, c);
      else q.enque(c); // добавить в очередь}
1 { printf(“.”); while (!q.queue()) printf(“%c”, q.deque);}
```

5.2.3 Генерация кода для оператора READ

```
READ (A,S);
```

```
push offset A
push offset S
push 2
call xREAD
add sp, 2*(2+1)
```

```
proc near xREAD
	mov ex, [sp+2]
	lea bx, [sp+2+ex*2]

@L1:
	call xREAD_AX
	mov [bx], ax
	sub bx, 2
	loop @l1
ret
```

```
1. <read> := READ (<id_list>) ;
2. <id_list>  := <id_list> , <id>
3. <id_list> := <id>
4. <id> := _ID_
```

```
0 { int arg_count; }
4 { arg_count++;
  [ push offset $ in] }
1 { push offset $ arg_count]
  [call xREAD]
  [add sp, 2*(arg_count+1)]}
```

5.2.4 Генерация кода для безусловного перехода

- **goto L**
  [jmp L]
  [L:]

- Оператор перехода в терминах ПОЛИЗа означает, что процесс интерпретации надо продолжить с того элемента ПОЛИЗа, который указан как операнд операции перехода.

- Чтобы можно было ссылаться на элементы ПОЛИЗа, будем считать, что все они перенумерованы, начиная с 1 (допустим, занесены в последовательные элементы одномерного массива).

- Пусть ПОЛИЗ оператора, помеченного меткой L, начинается с номера p, тогда оператор перехода **goto L** в ПОЛИЗе можно записать как **p !**

  где ! - операция выбора элемента ПОЛИЗа, номер которого равен p.

5.2.5 Генерация кода для оператора IF

1.<оператор if>::=IF <условие if> THEN <блок then>
2.<оператор if>::=IF <условие if> THEN <блок then> ELSE<блок else>
3<условие if>::=<expr L>
4.<блок then>::=<блок>

1. If B then S

Введем вспомогательную операцию - условный переход "по лжи" с семантикой

if (not B) then goto L

Это двухместная операция с операндами B и L. Обозначим ее !F

ПОЛИЗ: B’ p !F

где p - номер элемента, с которого начинается ПОЛИЗ оператора, помеченного меткой L.

2. if B then S1 else S2

if (not B) then goto L2; S1; goto L3; L2: S2; L3: ...

ПОЛИЗ: B’ p2 !F S1’ p3 ! S2’ ...

5.2.5 Генерация кода для оператора IF

if (условие)	OR ax,ax jnz метка_XXX jmp метка_YYY метка_XXX:	Генерируем код с уникальными именами меток, имена этих меток ложим в стек
… then…	jmp метка_ZZZ метка_YYY:	Здесь мы достаём из стека имя метки, вставляем эту метку в ассемблеровский листинг, затем ложим в стек новую уникальную метку
… else…;	метка_ZZZ:	Достаём из стека ярлык с меткой, которую вставляем в листинг

if [что-то] then [это] else [то]

```
        [код для <что-то>]
POP AX
OR AX, AX
jnz adr001
jmp adr002
adr001:
       [код для это]
jmp adr003
adr002:
       [код для то]
adr003:
```

5.2.5 Генерация кода для оператора IF

```
if [что-то1] then
	if [что-то2] then
		if [что-то3] then [это3] else [то3]
	else [то2]
```

```
	[код для <что-то1>]
POP AX
OR AX, AX
jnz adr001
jmp adr002
adr001:
	[код для <что-то2>]
POP AX
OR AX, AX
jnz adr003
jmp adr004
adr003:
	[код для <что-то3>]
POP AX
OR AX, AX
```

```
jnz adr005
jmp adr006
adr005:
	[код для это-3]
jmp adr007
adr006:
	[код для то-3]
adr007:
	jmp adr008
adr004:
	[код для то-2]
adr008:
	jmp adr009
adr002:
adr009:
```

5.2.6 Генерация кода для цикла WHILE

Семантика оператора цикла while B do S может быть описана так:

L0: if (not B) then goto L1; S; goto L0; L1: ... .

ПОЛИЗ : B’ p1 !F S’ p0 ! ... ,

где pi - номер элемента, с которого начинается ПОЛИЗ оператора, помеченного меткой Li, i = 0,1

5.2.6 Генерация кода для цикла WHILE

While <что-то> do
begin
<операторы>
end

1. <оператор w>::=<while> <услов. w> DO <body>
2. <while>::=WHILE
3. <услов. w>::=<exprL>
4. <body>::=<stmt>|BEGIN <stmt_list> END

ПОЛИЗ: 2 3 4 1

```
2.    @L0:
      [код для что-то]
3.    POP AX
      OR AX, AX
      jnz @L1
      jmp @L2
     @L1:
4.    [код для операторы]
1.    jmp @L0
      @L2:
```

2. генерируем уникальную метку L0
   s.push(L0)
   [$L0:]
3. генерируем уникальную метку L1, L2
   s.push (L1)
   s.push (L2)
   [POP AX]
   [OR AX, AX]
   [jnz $L1]
   [jmp $L2]
   [$L1: nop]
1. L2=s.pop ( )
   L0=s.pop ( )
   [jmp $L0]
   [$L2: nop]

5.2.6 Генерация кода для цикла WHILE

While <что-то> do
While <еще что-то> do
begin
<операторы>
end

ПОЛИЗ: 2 3 2 3 4 1 4 1

```
@adr0032:
        [код для что-то]
        POP AX
        OR AX, AX
        jnz @adr0033
        jmp @adr0034
@adr0033:
@adr0035:
        [код для еще что-то]
        POP AX
        OR AX, AX
        jnz @adr0036
        jmp @adr0037
@adr0036:
        [код для операторы]
        jmp @adr0035
@adr0037:
        jmp @adr0032
@adr0034:
```

@adr0034
@adr0033
@adr0032

@adr0034
@adr0032

@adr0037
@adr0036
@adr0035
@adr0034
@adr0032

@adr0037
@adr0035
@adr0034
@adr0032

@adr0034
@adr0032

5.2.7 Генерация кода для цикла FOR

FOR i:=1 TO N do S

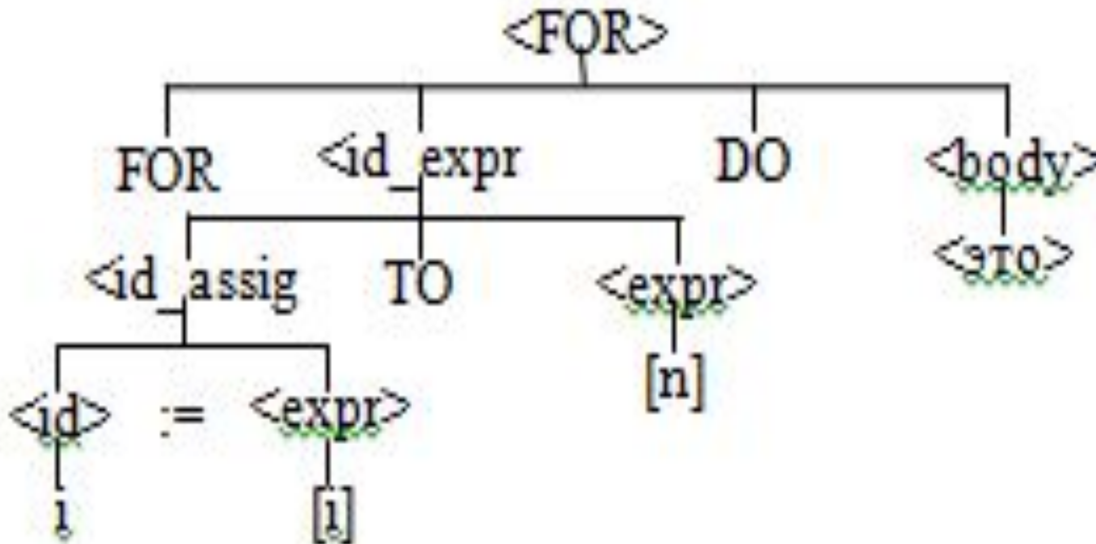
B1 => I <= N
B2 => I < N
I => i++

if (not B1) then goto L2; goto L1; L0: I; L1: S
if (not B2) then goto L2; goto L0;

ПОЛИЗ: B1’ p2 !F p1 ! I’ S’ B2’ p2 !F p0 !

5.2.7 Генерация кода для цикла FOR

FOR i:=<что-то> TO <еще что-то> do <это>



FOR i=1 to n do <body>

L1:

[проверка условия]

jg L2

[выполнение это]

inc counter

jmp L1

L2:

1. <for>::=FOR<idx_expr> DO<body>
2. <idx_expr>::=<id_assign> TO <expr>
3. <body>::=<stmt>|BEGIN <stmt_list> END
4. <id_assign>::=<id>:=<expr>

ПОЛИЗ: 4 2 3 1

5.2.7 Генерация кода для цикла FOR

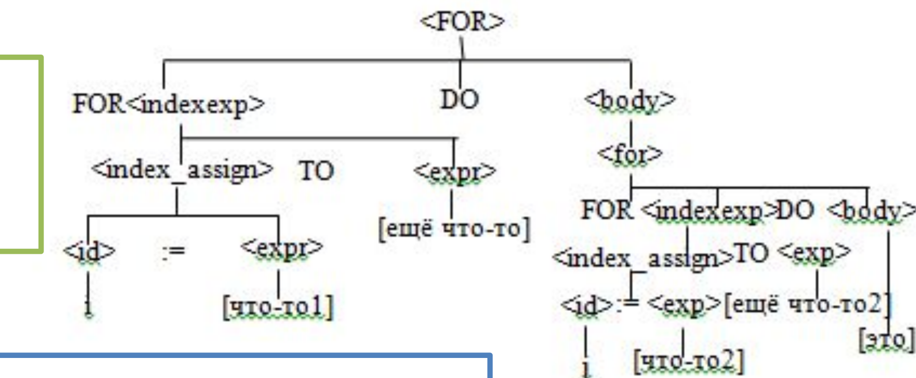
```
4.     [pop id]
       v.push(id)

2.     [pop DI]
       генерировать L1, L2, L3
[L1:]
       _i:=v.pop()
       [cmp _i, DI]
       [jng L2]
       [jmp L3]
[L2:]
       [push DI]
       s.push(L3);
       s.push(L1)
1.     [pop DI]
       i=v.pop
       [inc _i]
       L1=s.pop()
       [jmp L1]
       L3=s.pop()
[L3:]
```

```
[сформулировался код для <expr>]
       pop _i
       [код для expr2]
       pop DI
adr001:
       cmp _i, DI
       jng adr002
       jmp adr003
adr002:
       push DI
       [код <body>]
       pop DI
       inc _i
       jmp adr001
adr003: nop
```

5.2.7 Генерация кода для цикла FOR

FOR i:=<что-то> TO <еще что-то> DO
FOR j:=<что-то2> TO <еще что-то2> DO
<это>

ПОЛИЗ: 4 2 4 2 3 1




```
[код для что-то1]
        pop _i
[код для ещё что-то1]
        pop DI
adr001:
        cmp _i, DI
        jng adr002
        jmp adr003
adr002:
        push DI
        [код для что-то2]
        pop _j
        [код для ещё что-то2]
        pop DI
```

```
        cmp _j, DI
        jng adr005
        jmp adr006
adr005:
        push DI
        [код для это]
        pop DI
        inc _j
        jmp adr004
adr006:
        pop DI
        inc _i
        jmp adr001
adr003:
        nop
```

5.2.8 Генерация кода для оператора CASE

1. <case_stmt>::=CASE <tag> OF<variant_list> END;
2. <tag>::=<expr>
3. <variant_list>::=<variant>; <variant_list>|<variant>
4. <variant> ::= <case_const> : <body>
5. <body>::=<stmt>|BEGIN <stmt_list> END

CASE N OF
1: S1;
2: S2
END;

2. генерируем уникальную метку LCEND s.push(LCEND)
[POP AX]
5. cmp ax, $int
генерируем уникальные метки L1, L2
[je @L1]
[jmp @L2]
[$L1:]
s.push (L2)
4. L2=s.pop ( )
LCEND =s.pop ( )
[jmp $LCEND]
[$L2: nop]
1. LCEND =s.pop ( )
[$LCEND : nop]

ПОЛИЗ: 2 5 4 5 4 3 1

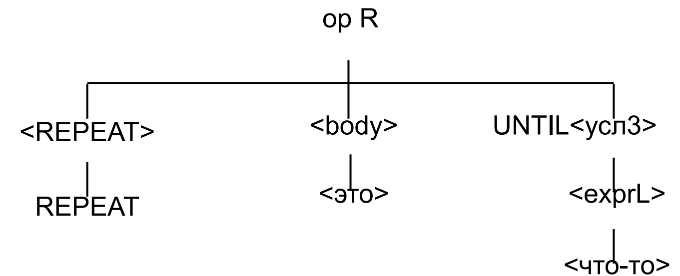
```
2.  [код для N]
    POP AX
5.  cmp ax, 1
    je @L1
    jmp @L2
   @L1:
    ; S1
4.  jmp LCEND
   @L2:
    cmp ax, 2
    …
   LCEND :
```

5.2.9 Генерация кода для цикла с постусловием REPEAT

REPEAT Si UNTIL B
L0: S; if (not B) then goto L0:; …
ПОЛИЗ: S’ B’ p0 !F …

1. <оператор R>::=<REPEAT> <body> UNTIL <усл. R>
2. <REPEAT>::=REPEAT
3. <усл. R>::=<exprL>
4. <body>::=<stmt> | BEGIN <stmt_list> END

REPEAT <что-то> UNTIL <это>



ПОЛИЗ: 2 4 3 1

2. генерировать L1:
   s.push (L1)
   [L1:]
3. [POP AX]
   [OR AX, AX]
   генерируем L2
   [jnz L2]
   L1:=s.pop ( );
   [jmp L1]
   [L2:]

```
[L1:]
    [код для <это>]
    [вычисление условий]
    pop AX
    OR AX, AX
    jnz L2
    jmp L1
L2:
```

5.2.10 Генерация кода для раздела объявления переменных

1. <program> ::= <prog> <prog_name> <var> <dec_list> <begin> <stmt_list> END.
2. <prog>:= PROGRAM
3. <prog_name> ::= <id>
4. <var> ::= VAR
5. <dec_list> ::= <dec> | <dec_list> ; <dec>
6. <dec> ::= <id_list> : <type>
7. <type> ::= INTEGER
8. <id_list> ::= <id> | <id_list> , <id>
9. <begin> ::= BEGIN
10. <end> ::= END.
11. <stmt_list> ::= <stmt> | <stmt_list> ; <stmt>
12. <stmt> ::= <assign> | <read> | <write> | <for> | <case> | <while> | <repeat> | <if>

ПОЛИЗ: 2 3 4 8 7 6 5 ... 1

8. 7. [_ID DW 0]

5. [DSEG ENDS]

1. [CSEG ENDS]
[end start]

3. [START: JMP BEGIN]

4. [DSEG SEGMENT]

9. [BEGIN:]

2. [p386]
[model tiny]
[CSEG SEGMENT]
[ASSUME CS:CSEG]
[ORG 100H]

Пример. Генерация кода

```
PROGRAM MYPROG;
VAR
INT1, INT2 : INTEGER;
BEGIN
   For INT1:=1 to 10 do
   begin
   INT2:=(INT1+1)*(INT1+2);
   end;
   write(INT2);
END.
```

```
        p386
        model tiny
        CSEG SEGMENT
        org 100h
start: jmp begin
        Dseg  SEGMENT
        INT1 dw 0
        INT2 dw 0
        DSEG ENDS
begin:
        push offset INT1
        push 1
        call xassign
@cmp_0:
        push 10
        pop ax
        cmp ax, [INT1]
        jge @for_0
        jmp @end_0
```

```
@for_0:
        push offset INT2
        push [INT1]
        push 1
        call xadd
        push ax
        push [INT1]
        push 2
        call xadd
        push ax
        call xmul
        call xassign
        inc [INT1]
        jmp @cmp_0
@end_0:
        push [INT2]
        call write_word
        cseg endseg
        end start
```