

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет “Львівська політехніка”



## Курсовий проект

З дисципліни «Системне програмування»  
на тему: "Розробка системних програмних модулів  
та компонент систем програмування."  
Розробка транслятора з вхідної мови програмування"  
**Варіант №19**

**Виконав:** ст. гр. КІ-307  
М'якішев Є.М.

**Перевірив:**  
старший викладач каф. ЕОМ

Козак Н.Б.

Львів-2024

# Анотація

Цей курсовий проект приводить до розробки транслятора, який здатен конвертувати вхідну мову, визначену відповідно до варіанту, у мову асемблера. Процес трансляції включає в себе лексичний аналіз, синтаксичний аналіз та генерацію коду.

Лексичний аналіз розбиває вхідну послідовність символів на лексеми, які записуються у відповідну таблицю лексем. Кожній лексемі присвоюється числове значення для полегшення порівнянь, а також зберігається додаткова інформація, така як номер рядка, значення (якщо тип лексеми є числом) та інші деталі.

Синтаксичний аналіз: використовується висхідний метод аналізу без повернення. Призначений для побудови дерева розбору, послідовно рухаючись від листків вгору до кореня дерева розбору.

Генерація коду включає повторне прочитання таблиці лексем та створення відповідного асемблерного коду для кожного блоку лексем. Отриманий код записується у результуючий файл, готовий для виконання.

Отриманий після трансляції код можна скомпілювати за допомогою відповідних програм (наприклад, LINK, ML і т. д.).

## Зміст

Анотація.....	2
Завдання до курсового проекту.....	4
Вступ.....	6
1. Огляд методів та способів проектування трансляторів.....	7
2. Формальний опис вхідної мови програмування.....	10
2.1. Деталізований опис вхідної мови в термінах розширеної нотації Бекуса-Наура.....	10
2.2. Опис термінальних символів та ключових слів.....	12
3. Розробка транслятора вхідної мови програмування.....	14
3.1. Вибір технології програмування.....	14
3.2. Проектування таблиць транслятора.....	15
3.3. Розробка лексичного аналізатора.....	17
3.3.1. Розробка блок-схеми алгоритму.....	18
3.3.2. Опис програми реалізації лексичного аналізатора.....	18
3.4. Розробка синтаксичного та семантичного аналізатора.....	20
3.4.1. Опис програми реалізації синтаксичного та семантичного аналізатора.....	21
3.4.2. Розробка граф-схеми алгоритму.....	21
3.5. Розробка генератора коду.....	22
3.5.1. Розробка граф-схеми алгоритму.....	23
3.5.2. Опис програми реалізації генератора коду.....	24
4. Опис програми.....	25
4.1. Опис інтерфейсу та інструкція користувачеві.....	28
5. Відлагодження та тестування програми.....	29
5.1. Виявлення лексичних та синтаксичних помилок.....	29
5.2. Виявлення семантичних помилок.....	30
5.3. Загальна перевірка коректності роботи транслятора.....	30
5.4. Тестова програма №1.....	32
5.5. Тестова програма №2.....	33
5.6. Тестова програма №3.....	34
Висновки.....	37
Список використаної літератури.....	38
Додатки.....	39

# Завдання до курсового проекту

## Варіант 19

Завдання на курсовий проект

1. Цільова мова транслятора – асемблер для 32-розрядного процесора.
2. Для отримання виконавчого файлу на виході розробленого транслятора скористатися програмами ml.exe і link.exe.
3. Мова розробки транслятора: C++.
4. Реалізувати оболонку або інтерфейс з командного рядка.
5. На вхід розробленого транслятора має подаватися текстовий файл, написаний на заданій мові програмування.
6. На виході розробленого транслятора мають створюватись такі файли:
  - файл з лексемами;
  - файл з повідомленнями про помилки (або про їх відсутність);
  - файл на мові асемблера;
  - об'єктний файл;
  - виконавчий файл.
7. Назва вхідної мови програмування утворюється від першої букви у прізвищі студента та останніх двох цифр номера його варіанту. Саме таке розширення повинні мати текстові файли, написані на цій мові програмування.

В моєму випадку це .m19

Опис вхідної мови програмування:

- Тип даних: int\_2
- Блок тіла програми: startprogram variable...; startblok endblok
- Оператор вводу: get ()
- Оператор виводу: put ()
- Оператори: if else (C)
  - goto (C)
  - for-to-do (Паскаль)
  - for-downto-do (Паскаль)
  - while (Бейсік)
  - repeat-until (Паскаль)
- Регістр ключових слів: Low
- Регістр ідентифікаторів: Up4 перший символ \_
- Операції арифметичні: +, -, \*, /, %
- Операції порівняння: eq, noteq, gr, less
- Операції логічні: !, and, or
- Коментар: /\*...
- Ідентифікатори змінних, числові константи

- Оператор присвоєння: <-

Для отримання виконавчого файлу на виході розробленого транслятора скористатися програмами ml.exe (компілятор мови асемблера) і link.exe (редактор зв'язків).

# Вступ

Термін "транслятор" визначає програму, яка виконує переклад (трансляцію) початкової програми, написаної на вхідній мові, у еквівалентну їй об'єктну програму. У випадку, коли мова високого рівня є вхідною, а мова асемблера або машинна – вихідною, такий транслятор отримує назву компілятора.

Транслятори можуть бути розділені на два основних типи: компілятори та інтерпретатори. Процес компіляції включає дві основні фази: аналіз та синтез. Під час аналізу вхідну програму розбивають на окремі елементи (лексеми), перевіряють її відповідність граматичним правилам і створюють проміжне представлення програми. На етапі синтезу з проміжного представлення формується програма в машинних кодах, яку називають об'єктною програмою. Останню можна виконати на комп'ютері без додаткової трансляції.

У відмінну від компіляторів, інтерпретатор не створює нову програму; він лише виконує – інтерпретує – кожну інструкцію вхідної мови програмування. Подібно компілятору, інтерпретатор аналізує вхідну програму, створює проміжне представлення, але не формує об'єктну програму, а негайно виконує команди, передбачені вхідною програмою.

Компілятор виконує переклад програми з однієї мови програмування в іншу. На вхід компілятора надходить ланцюг символів, який представляє вхідну програму на певній мові програмування. На виході компілятора (об'єктна програма) також представляє собою ланцюг символів, що вже відповідає іншій мові програмування, наприклад, машинній мові конкретного комп'ютера. При цьому сам компілятор може бути написаний на третій мові.

# 1.Огляд методів та способів проектування трансляторів

Термін "транслятор" визначає обслуговуючу програму, що проводить трансляцію вихідної програми, представленої на вхідній мові програмування, у робочу програму, яка відображена на об'єктній мові. Наведене визначення застосовне до різноманітних трансляторів програм. Однак кожна з таких програм може виявляти свої особливості в організації процесу трансляції. В сучасному контексті транслятори поділяються на три основні групи: асемблери, компілятори та інтерпретатори.

Асемблер - це системна обслуговуюча програма, яка перетворює символічні конструкції в команди машинної мови. Типовою особливістю асемблерів є дослівна трансляція однієї символічної команди в одну машинну.

Компілятор - обслуговуюча програма, яка виконує трансляцію програми, написаної мовою оригіналу програмування, в машинну мову. Схоже до асемблера, компілятор виконує перетворення програми з однієї мови в іншу, найчастіше - у мову конкретного комп'ютера.

Інтерпретатор - це програма чи пристрій, що виконує пооператорну трансляцію та виконання вихідної програми. Відмінно від компілятора, інтерпретатор не створює на виході програму на машинній мові. Розпізнавши команду вихідної мови, він негайно її виконує, забезпечуючи більшу гнучкість у процесі розробки та налагодження програм.

Процес трансляції включає фази лексичного аналізу, синтаксичного та семантичного аналізу, оптимізації коду та генерації коду. Лексичний аналіз розбиває вхідну програму на лексеми, що представляють слова відповідно до визначень мови. Синтаксичний аналіз визначає структуру програми, створюючи синтаксичне дерево. Семантичний аналіз виявляє залежності між частинами програми, недосяжні контекстно-вільним синтаксисом. Оптимізація коду та генерація коду спрямовані на оптимізацію та створення машинно-залежного коду відповідно.

Зазначені фази можуть об'єднуватися або відсутні у трансляторах в залежності від їхньої реалізації. Наприклад, у простих однопрохідних трансляторах може відсутні фаза генерації проміжного представлення та оптимізації, а інші фази можуть об'єднуватися.

Під час процесу виділення лексем лексичний аналізатор може виконувати дві основні функції: автоматично побудову таблиць об'єктів (таких як ідентифікатори, рядки, числа і т. д.) і видачу значень для кожної лексеми при кожному новому зверненні до нього. У цьому контексті таблиці об'єктів формуються в подальших етапах, наприклад, під час синтаксичного аналізу.

На етапі лексичного аналізу виявляються деякі прості помилки, такі як неприпустимі символи або невірний формат чисел та ідентифікаторів.

Основним завданням синтаксичного аналізу є розбір структури програми. Зазвичай під структурою розуміється дерево, яке відповідає розбору в контекстно-вільній граматиці мови програмування. У сучасній практиці найчастіше використовуються методи аналізу, такі як LL (1) або LR (1) та їхні варіанти (рекурсивний спуск для LL (1) або LR (1), LR (0), SLR (1), LALR (1) та інші для LR (1)). Рекурсивний спуск застосовується частіше при ручному програмуванні синтаксичного аналізатора, тоді як LR (1) використовується при автоматичній генерації синтаксичних аналізаторів.

Результатом синтаксичного аналізу є синтаксичне дерево з посиланнями на таблиці об'єктів. Під час синтаксичного аналізу також виявляються помилки, пов'язані зі структурою програми.

На етапі контекстного аналізу виявляються взаємозалежності між різними частинами програми, які не можуть бути адекватно описані за допомогою контекстно-вільної граматики. Ці взаємозалежності, зокрема, включають аналіз типів об'єктів, областей видимості, відповідності параметрів, міток та інших аспектів "опис-використання". У ході контекстного аналізу таблиці об'єктів доповнюються інформацією, пов'язаною з описами (властивостями) об'єктів.

В основі контекстного аналізу лежить апарат атрибутних граматики. Результатом цього аналізу є створення атрибутованого дерева програми, де інформація про об'єкти може бути розсіяна в самому дереві чи сконцентрована в окремих таблицях об'єктів. Під час контекстного аналізу також можуть бути виявлені помилки, пов'язані з неправильним використанням об'єктів.

Після завершення контекстного аналізу програма може бути перетворена во внутрішнє представлення. Це здійснюється з метою оптимізації та/або для полегшення генерації коду. Крім того, перетворення програми у внутрішнє представлення може бути використано для створення переносимого компілятора. У цьому випадку, тільки остання фаза (генерація коду) є залежною від конкретної архітектури. В якості внутрішнього представлення може використовуватися префіксний або постфіксний запис, орієнтований граф, трійки, четвірки та інші формати.

Фаза оптимізації транслятора може включати декілька етапів, які спрямовані на покращення якості та ефективності згенерованого коду. Ці оптимізації часто розподіляються за двома головними критеріями: машинно-залежні та машинно-незалежні, а також локальні та глобальні.

Машинно-залежні оптимізації, як правило, проводяться на етапі генерації коду, і вони орієнтовані на конкретну архітектуру машини. Ці оптимізації можуть включати розподіл регістрів, вибір довгих або коротких переходів та оптимізацію вартості команд для конкретних послідовностей команд.



Глобальна оптимізація спрямована на поліпшення ефективності всієї програми і базується на глобальному потоковому аналізі, який виконується на графі програми. Цей аналіз враховує властивості програми, такі як межпроцедурний аналіз, міжмодульний аналіз та аналіз галузей життя змінних.

Фінальна фаза трансляції - генерація коду, результатом якої є або асемблерний модуль, або об'єктний (або завантажувальний) модуль. На цьому етапі можуть застосовуватися деякі локальні оптимізації для полегшення генерації вартісного та ефективного коду.

Важливо відзначити, що фази транслятора можуть бути відсутніми або об'єднаними в залежності від конкретної реалізації. В простіших випадках, таких як у випадку однопроходових трансляторів, може відсутній окремий етап генерації проміжного представлення та оптимізації, а інші фази можуть бути об'єднані в одну, при цьому не створюється явно побудованого синтаксичного дерева.

## 2.Формальний опис вхідної мови програмування

### 2.1. Деталізований опис вхідної мови в термінах розширеної нотації Бекуса-Наура

Однією з перших задач, що виникають при побудові компілятора, є визначення вхідної мови програмування. Для цього використовують різні способи формального опису, серед яких я застосував розширену нотацію Бекуса-Наура (Backus/Naur Form - BNF).

```
<topRule> <- startprogram [<varsBlok> ]; startblok <write> | <read> |  
<assignment> | <ifStatement> | <goto_statement> | <labelRule> |  
<forToOrDownToDoRule> | <while> | <repeatUntil> endblok  
  
<varsBlok> <- variable int_2 <identifier> [{<commaAndIdentifier>}];  
<identifier> <- _<up_letter> {<up_letter>|<number>} {3}  
<commaAndIdentifier> <- , <identifier>  
  
<codeBlok> <- startblok <write> | <read> | <assignment> | <ifStatement> |  
<goto_statement> | <labelRule> | <forToOrDownToDoRule> | <while> |  
<repeatUntil> endblok  
  
<read> <- get ( <identifier> );  
<write> <- put ( <equation> | <stringRule>);  
<assignment> <- <identifier> <- <equation>;  
<ifStatement> <- if ( <equation> ) <codeBlok> <elseStatement>  
<elseStatement> <- else <codeBlok>  
<goto_statement> <- goto <ident>;  
<labelRule> <- <identifier>;  
<forToOrDownToDoRule> <- for <assignment> to | downto <equation> do  
<codeBlok>  
  
<while> <- while (<equation>) <codeBlok>  
<repeatUntil> <- repeat <codeBlok> until (<equation>)  
<equation> <- <signedNumber> | <identifier> | <notRule> [{  
<operationAndIdentOrNumber> | <equation> }]  
<notRule> <- <notOperation> <signedNumber> | <identifier> | <equation>
```

```

<operationAndIdentOrNumber> <- <mult> | <arithmetic> | <logic> | <compare>
<signedNumber> | <identifier> | <equation>

<arithmetic> <- + | -

<mult> <- * | / | %

<logic> <- and | or

<notOperation> <- !

<compare> <- eq | noteq | less | gr

<stringRule> <- “ <string> “

<comment> <- <LComment> <string>

<LComment> <- /*

<string> <- { <low_letter> | <up_letter> | <number> }

<signedNumber> <- [<sign>] <digit>[{ digit}]

<sign> <- + | -

<low_letter> >> “a” | ”b” | ”c” | ”d” | “e” | ”f” | “g” | “h” | “i” | “j” | “k” | “l” | “n” | “m”
| “o” | “p” | “q” | ”r” | “s” | “t” | “u” | “v” | “w” | “x” | “y” | “z”

<up_letter> >> “A” | “B” | “C” | “D” | “E” | “F” | “G” | “H” | “I” | “J” | “K” | “L” |
“N” | “M” | “O” | “P” | “Q” | “R” | “S” | “T” | “U” | “V” | “W” | “X” | “Y” | “Z”

<digit> >> "0" | "1" | "2" | "3" | "4" | "5" | "6" | "7" | "8" | "9"

```

## 2.2. Опис термінальних символів та ключових слів

Визначимо окремі термінальні символи та нерозривні набори термінальних символів (ключові слова):

Термінальний символ або ключове слово	Значення
startprogram	Початок програми
startblok	Початок тексту програми
variable	Початок блоку опису змінних
endblok	Кінець розділу операторів
get	Оператор вводу змінних
put	Оператор виводу (змінних або рядкових констант)
<-	Оператор присвоєння
if	Оператор умови
else	Оператор умови
goto	Оператор переходу
label	Мітка переходу
for	Оператор циклу
to	Інкремент циклу
downto	Декремент циклу
do	Початок тіла циклу
while	Оператор циклу
repeat	Початок тіла циклу
until	Оператор циклу
+	Оператор додавання
-	Оператор віднімання

*	Оператор множення
/	Оператор ділення
%	Оператор знаходження залишку від ділення
eq	Оператор перевірки на рівність
noteq	Оператор перевірки на нерівність
less	Оператор перевірки чи менше
gr	Оператор перевірки чи більше
!	Оператор логічного заперечення
and	Оператор кон'юнкції
or	Оператор диз'юнкції
int_2	16-ти розрядні знакові цілі
/*...	Коментар
,	Розділювач
;	Ознака кінця оператора
(	Відкриваюча дужка
)	Закриваюча дужка

До термінальних символів віднесемо також усі цифри (0-9), латинські букви (a-z, A-Z), символи табуляції, символ переходу на нову стрічку, пробілу.

## **3.Розробка транслятора вхідної мови програмування**

### **3.1. Вибір технології програмування**

Для ефективної роботи створюваної програми важливу роль відіграє попереднє складення алгоритму роботи програми, алгоритму написання програми і вибір технології програмування.

Тому при складанні транслятора треба брати до уваги швидкість компіляції, якість об'єктної програми. Проект повинен давати можливість просто вносити зміни.

В реалізації мов високого рівня часто використовується специфічний тільки для компіляції засіб “розкрутки”. З кожним транслятором завжди зв'язані три мови програмування:  $X$  – початкова,  $Y$  – об'єктна та  $Z$  – інструментальна. Транслятор перекладає програми мовою  $X$  в програми, складені мовою  $Y$ , при цьому сам транслятор є програмою написаною мовою  $Z$ .

При розробці даного курсового проекту був використаний висхідний метод синтаксичного аналізу.

Також був обраний прямий метод лексичного аналізу. Характерною ознакою цього методу є те, що його реалізація відбувається без повернення назад. Його можна сприймати, як один спільний скінченний автомат. Такий автомат на кожному кроці читає один вхідний символ і переходить у наступний стан, що наближає його до розпізнавання поточної лексеми чи формування інформації про помилки. Для лексем, що мають однакові підланцюжки, автомат має спільні фрагменти, що реалізують єдину множину станів. Частини, що відрізняються, реалізуються своїми фрагментами

## 3.2. Проектування таблиць транслятора

Використання таблиць значно полегшує створення трансляторів, тому у даному випадку використовуються наступне:

- 1) Мульти мапа для лексеми, значення та рядка кожного токена.

```
std::multimap<int, std::shared_ptr<IToken>> m_priorityTokens;  
  
std::string m_lexeme; //Лексема  
std::string m_value; //Значення  
int m_line = -1; //Рядок
```

- 2) Таблиця лексичних класів

Якщо у стовпці «Значення» відсутня інформація про токен, то це означає що його значення визначається користувачем під час написання коду на створеній мові програмування.

Таблиця 2 Опис термінальних символів та ключових слів

Токен	Значення
Program	startprogram
Start	startblok
Vars	variable
End	endblok
VarType	int_2
Read	get
Write	put
Assignment	<-
If	if
Else	else
Goto	goto
Colon	:
Label	
For	for
To	to
DownTo	downto

Do	do
While	while
Repeat	repeat
Until	until
Addition	+
Subtraction	-
Multiplication	*
Division	/
Mod	%
Equal	eq
NotEqual	noteq
Less	less
Greate	gr
Not	!
And	and
Or	or
Plus	+
Minus	-
Identifier	
Number	
String	
Undefined	
Unknown	
Comma	,
Quotes	“
Semicolon	;
LBracket	(
RBracket	)
LComment	/*
Comment	



### 3.3. Розробка лексичного аналізатора

На фазі лексичного аналізу вхідна програма, що представляє собою потік літер, розбивається на лексеми - слова у відповідності з визначеннями мови. Лексичний аналізатор може працювати в двох основних режимах: або як підпрограма, що викликається синтаксичним аналізатором для отримання чергової лексеми, або як повний прохід, результатом якого є файл лексем.

Для нашої програми виберемо другий варіант. Тобто, спочатку буде виконуватись фаза лексичного аналізу. Результатом цієї фази буде файл з списком лексем. Але лексеми записуються у файл не як послідовність символів. Кожній лексемі присвоюється певний символ, тип, значення та рядок. Ці дані далі записуються у файл. Такий підхід дозволяє спростити роботу синтаксичного аналізатора.

Також на етапі лексичного аналізу виявляються деякі (найпростіші) помилки (неприпустимі символи, неправильний запис чисел, ідентифікаторів та ін.)

На вхід лексичного аналізатора надходить текст вихідної програми, а вихідна інформація передається для подальшої обробки компілятором на етапі синтаксичного аналізу.

Існує кілька причин, з яких до складу практично всіх компіляторів включають лексичний аналіз:

- застосування лексичного аналізатора спрощує роботу з текстом вихідної програми на етапі синтаксичного розбору;
- для виділення в тексті та розбору лексем можливо застосовувати просту, ефективну і теоретично добре пророблену техніку аналізу;

### 3.3.1. Розробка блок-схеми алгоритму

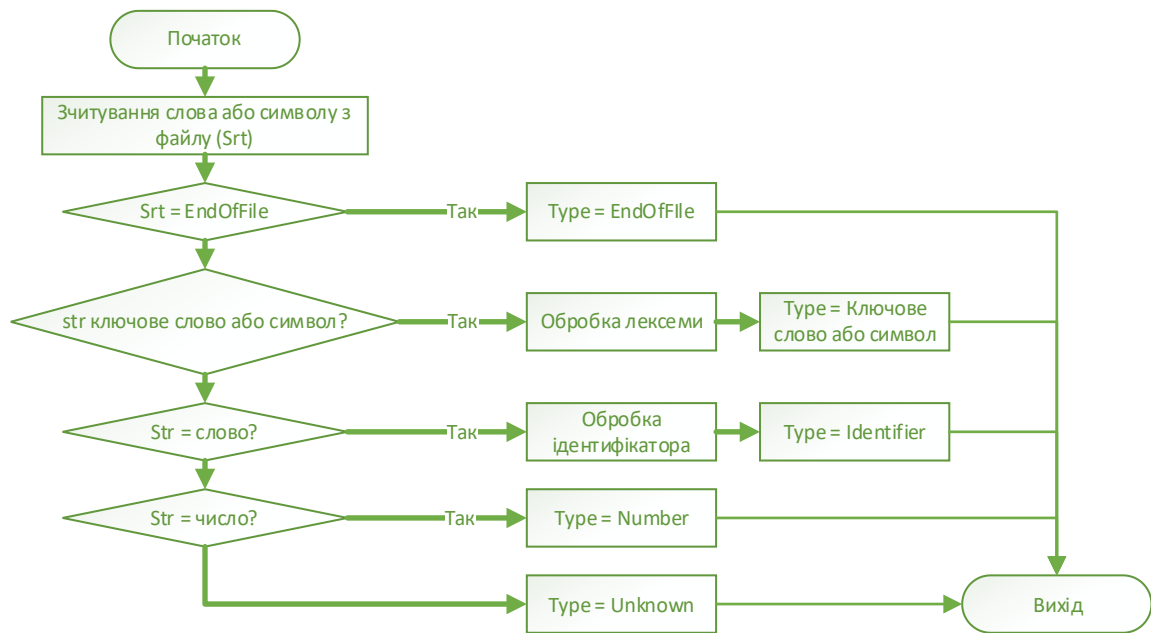


Рис. 3.1 Блок-схема роботи лексичного аналізатора

### 3.3.2. Опис програми реалізації лексичного аналізатора

Основна задача лексичного аналізу – розбити вихідний текст, що складається з послідовності одиночних символів, на послідовність слів, або лексем, тобто виділити ці слова з безперервної послідовності символів. Всі символи вхідної послідовності з цієї точки зору розділяються на символи, що належать яким-небудь лексемам, і символи, що розділяють лексеми. В цьому випадку використовуються звичайні засоби обробки рядків. Вхідна програма проглядається послідовно з початку до кінця. Базові елементи, або лексичні одиниці, розділяються пробілами, знаками операцій і спеціальними символами (новий рядок, знак табуляції), і таким чином виділяються та розпізнаються ідентифікатори, літерали і термінальні символи (операції, ключові слова).

Програма аналізує файл поки не досягне його кінця. Для вхідного файлу викликається функція `tokenize()`. Вона зчитує з файлу його вміст та кожну лексему порівнює з зарезервованими словами якщо є співпадіння то присвоює лексемі відповідний тип або значення, якщо це числова константа.

При виділенні лексеми вона розпізнається та записується у список `m_tokens` за допомогою відповідного типу лексеми, що є унікальним для кожної лексеми із усього можливого їх набору. Це дає можливість наступним фазам компіляції звертатись до лексеми не як до послідовності символів, а як до унікального типу лексеми, що значно спрощує роботу синтаксичного аналізатора: легко

перевіряти належність лексеми до відповідної синтаксичної конструкції та є можливість легкого перегляду програми, як вгору, так і вниз, від поточної позиції аналізу. Також в таблиці лексем ведуться записи, щодо рядка відповідної лексеми – для місця помилки – та додаткова інформація.

При лексичному аналізі виявляються і відзначаються лексичні помилки (наприклад, недопустимі символи і неправильні ідентифікатори). Лексична фаза відкидає також коментарі та символи лапок у конструкції String, оскільки вони не мають ніякого впливу на виконання програми, отже й на синтаксичний розбір та генерацію коду.

В даному курсовому проекті реалізовано прямий лексичний аналізатор, який виділяє з вхідного тексту програми окремі лексеми і на основі цього формує таблицю.

### **3.4. Розробка синтаксичного та семантичного аналізатора**

Синтаксичний аналізатор - частина компілятора, яка відповідає за виявлення основних синтаксичних конструкцій вхідної мови. У завдання синтаксичного аналізатора входить: знайти і виділити основні синтаксичні конструкції в тексті вхідної програми, встановити тип і перевірити правильність кожної синтаксичної конструкції у вигляді, зручному для подальшої генерації тексту результуючої програми.

В основі синтаксичного аналізатора лежить Розпізнавач тексту вхідної програми на основі граматики вхідного мови. Як правило, синтаксичні конструкції мов програмування можуть бути описані за допомогою КС-грамматик, рідше зустрічаються мови, які можуть бути описані за допомогою регулярних граматик. Найчастіше регулярні граматики застосовні до мов асемблера, а мови високого рівня побудовані на основі КС-мов.

Синтаксичний розбір - це основна частина компіляції на етапі аналізу. Без виконання синтаксичного розбору робота компілятора безглузда, у той час як лексичний аналізатор є зовсім необов'язковим. Усі завдання з перевірки лексики вхідного мови можуть бути вирішені на етапі синтаксичного розбору. Сканер тільки дозволяє позбавити складний за структурою лексичний аналізатор від рішення примітивних завдань з виявлення та запам'ятовування лексем вхідний програми.

В даному курсовому проекті синтаксичний аналіз можна виконувати лише після виконання лексичного аналізу, він являється окремим етапом трансляції.

На вході даного аналізатора є файл лексем, який є результатом виконання лексичного аналізу, на базі цього файлу синтаксичний аналізатор формує таблицю ідентифікаторів та змінних.

### 3.4.1. Опис програми реалізації синтаксичного та семантичного аналізатора

На вхід синтаксичного аналізатора подіється таблиця лексем створена на етапі лексичного аналізу. Аналізатор проходить по ній і перевіряє чи набір лексем відповідає раніше описаним формам нотації Бекуса-Наура. І разі не відповідності у файл з помилками виводиться інформація про помилку і про рядок на якій вона знаходиться.

При знаходженні оператора присвоєння або математичних виразів здійснюється перевірка балансу дужок(кількість відкриваючих дужок має дорівнювати кількості закриваючих). Також здійснюється перевірка чи не йдуть підряд декілька лексем одного типу

Результатом синтаксичного аналізу є синтаксичне дерево з посиланнями на таблиці об'єктів. У процесі синтаксичного аналізу також виявляються помилки, пов'язані зі структурою програми.

В основі синтаксичного аналізатора лежить розпізнавач тексту вхідної програми на основі граматики вхідної мови.

### 3.4.2. Розробка граф-схеми алгоритму

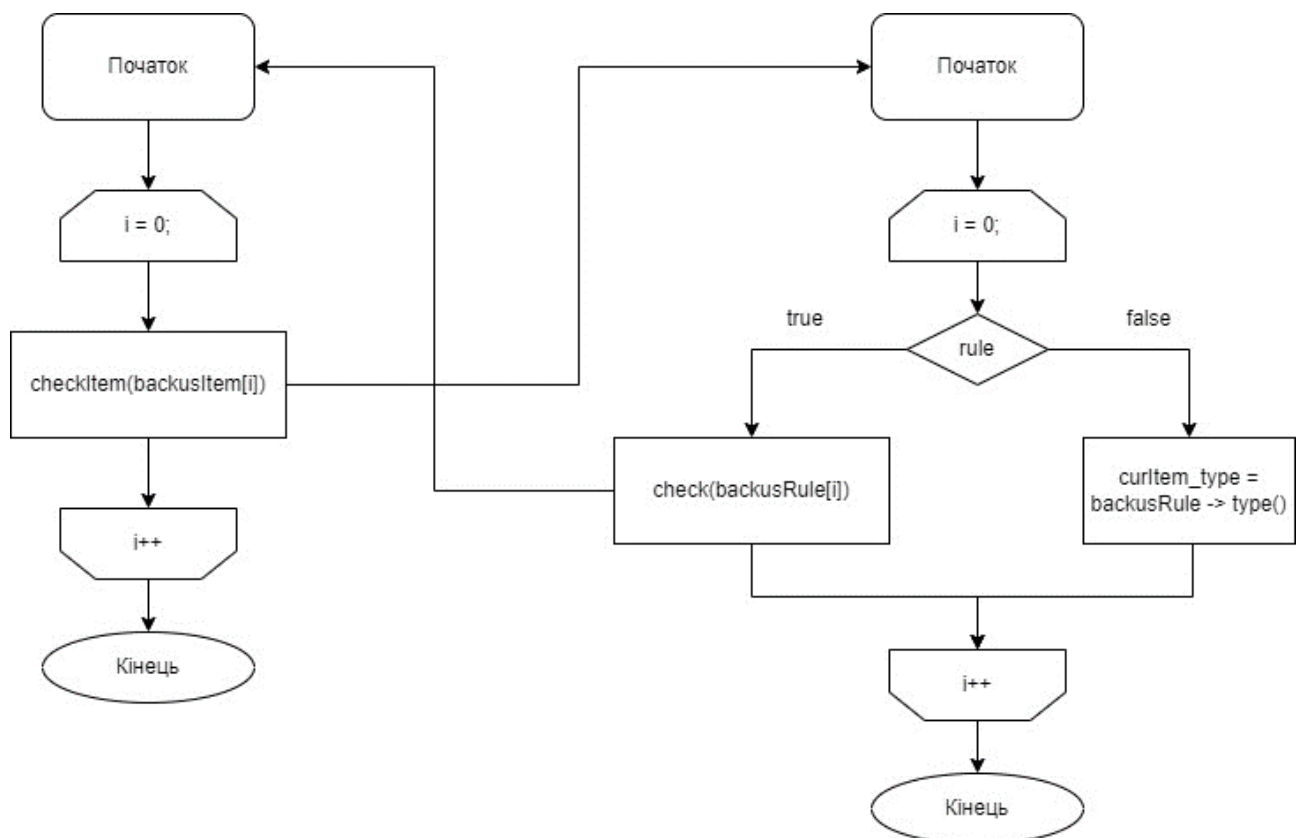


Рис. 3.2 Граф-схема роботи синтаксичного аналізатора

### 3.5. Розробка генератора коду

Синтаксичне дерево в чистому вигляді несе тільки інформацію про структуру програми. Насправді в процесі генерації коду потрібна також інформація про змінні (наприклад, їх адреси), процедури (також адреси, рівні), мітки і т.д. Для представлення цієї інформації можливі різні рішення. Найбільш поширені два:

- інформація зберігається у таблицях генератора коду;
- інформація зберігається у відповідних вершинах дерева.

Розглянемо, наприклад, структуру таблиць, які можуть бути використані в поєднанні з Лідер-представленням. Оскільки Лідер-представлення не містить інформації про адреси змінних, значить, цю інформацію потрібно формувати в процесі обробки оголошень і зберігати в таблицях. Це стосується і описів масивів, записів і т.д. Крім того, в таблицях також повинна міститися інформація про процедури (адреси, рівні, модулі, в яких процедури описані, і т.д.). При вході в процедуру в таблиці рівнів процедур заводиться новий вхід - вказівник на таблицю описів. При виході вказівник поновлюється на старе значення. Якщо проміжне представлення - дерево, то інформація може зберігатися в вершинах самого дерева.

Генерація коду – це машинно-залежний етап компіляції, під час якого відбувається побудова машинного еквівалента вхідної програми. Зазвичай входом для генератора коду служить проміжна форма представлення програми, а на виході може з'являтися об'єктний код або модуль завантаження.

Генератор асемблерного коду приймає масив лексем без помилок. Якщо на двох попередніх етапах виявлено помилки, то ця фаза не виконується.

В даному курсовому проекті генерація коду реалізується як окремий етап. Можливість його виконання є лише за умови, що попередньо успішно виконався етап синтаксичного аналізу. І використовує результат виконання попереднього аналізу, тобто два файли: перший містить згенерований асемблерний код відповідно операторам які були в програмі, другий файл містить таблицю змінних. Інформація з них зчитується в відповідному порядку, основні константні конструкції записуються в файл `asm`.

### 3.5.1. Розробка граф-схеми алгоритму

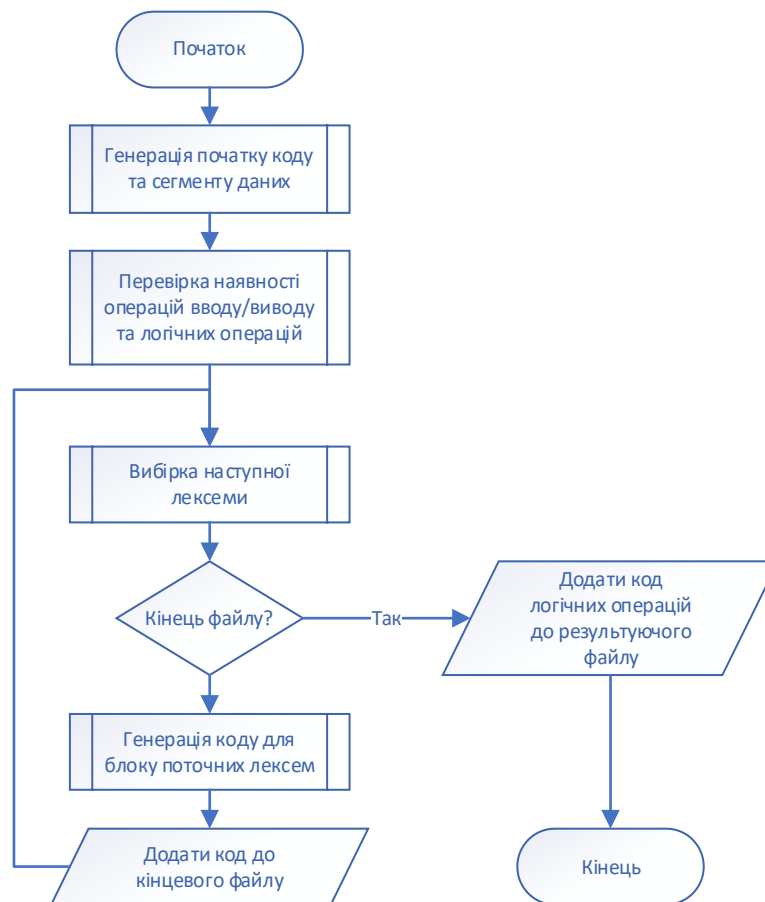


Рис. 3.3 Блок схема генератора коду

### 3.5.2. Опис програми реалізації генератора коду

У компілятора, реалізованого в даному курсовому проєкті, вихідна мова - програма на мові Assembler. Ця програма записується у файл, що має таку ж саму назву, як і файл з вхідним текстом, але розширення “asm”. Генерація коду відбувається одразу ж після синтаксичного аналізу.

В даному трансляторі генератор коду послідовно викликає окремі функції, які записують у вихідний файл частини коду.

Першим кроком генерації коду записується ініціалізація сегменту даних. Далі виконується аналіз коду, та визначаються процедури, зміни, які використовуються.

Проаналізувавши змінні, які є у програмі, генератор формує код даних для асемблерної програми. Для цього з таблиці лексем вибирається ім'я змінної (типи змінних відповідають 4 байтам), та записується 0, в якості початкового значення.

Аналіз наявних процедур необхідний у зв'язку з тим, що процедури введення/виведення, виконання арифметичних та логічних операцій, виконано у вигляді окремих процедур і у випадку їх відсутності немає сенсу записувати у вихідний файл зайву інформацію.

Після цього зчитується лексема з таблиці лексем. Також відбувається перевірка, чи це не остання лексема. Якщо це остання лексема, то функція завершується.

Наступним кроком є аналіз таблиці лексем, та безпосередня генерація коду у відповідності до вхідної програми.

Генератор коду зчитує лексему та генерує відповідний код, який записується у файл. Наприклад, якщо це лексема виведення, то у основну програму записується виклик процедури виведення, попередньо записавши у співпроцесор значення, яке необхідно вивести. Якщо це арифметична операція, так само викликається дана процедура, але як і в попередньому випадку, спочатку у регістри співпроцесора записується інформація, яка вказує над якими значеннями виконувати дії.

Генератор закінчує свою роботу, коли зчитує лексему, що відповідає кінцю файлу.

В кінці своєї роботи, генератор формує код завершення асемблерної програми.



## 4. Опис програми

Дана програма написана мовою C++ з при розробці якої було створено структури `BackusRule` та `BackusRuleItem` за допомогою яких можна чітко описати нотатки Бекуса-Наура, які використовуються для семантично-лексичного аналізу написаної програми для заданої мови програмування

```
auto assignmentRule = BackusRule::MakeRule("AssignmentRule", {
    BackusRuleItem({ identRule->type()}, OnlyOne),
    BackusRuleItem({ Assignment::Type()}, OnlyOne),
    BackusRuleItem({ equation->type()}, OnlyOne)
});

auto read = BackusRule::MakeRule("ReadRule", {
    BackusRuleItem({ Read::Type()}, OnlyOne),
    BackusRuleItem({ LBraket::Type()}, OnlyOne),
    BackusRuleItem({ identRule->type()}, OnlyOne),
    BackusRuleItem({ RBraket::Type()}, OnlyOne)
});

auto write = BackusRule::MakeRule("WriteRule", {
    BackusRuleItem({ Write::Type()}, OnlyOne),
    BackusRuleItem({ LBraket::Type()}, OnlyOne | PairStart),
    BackusRuleItem({ stringRule->type(), equation->type() }, OnlyOne),
    BackusRuleItem({ RBraket::Type()}, OnlyOne | PairEnd)
});

auto codeBlok = BackusRule::MakeRule("CodeBlok", {
    BackusRuleItem({ Start::Type()}, OnlyOne),
    BackusRuleItem({ operators->type(), operatorsWithSemicolon->type()}, Optional | OneOrMore),
    BackusRuleItem({ End::Type()}, OnlyOne)
});

auto topRule = BackusRule::MakeRule("TopRule", {
    BackusRuleItem({ Program::Type()}, OnlyOne),
    BackusRuleItem({ identRule->type()}, OnlyOne),
    BackusRuleItem({ Semicolon::Type()}, OnlyOne),
    BackusRuleItem({ Vars::Type()}, OnlyOne),
    BackusRuleItem({ varsBlok->type()}, OnlyOne),
    BackusRuleItem({ codeBlok->type()}, OnlyOne)
});
```

Вище наведено приклад опису нотаток Бекуса-Наура за допомогою цих структур. Наприклад `topRule` це правило, що відповідає за правильну структуру написаної програми, тобто якими лексемами вона повинна починатись та які операції можуть бути використанні всередині виконавчого блоку програми.

Всередині структури `BackusRule` описаний порядок tokenів для певного правила. А в структурі `BackusRuleItem` описані токени, які при перевірці трактується програмою як «АБО», тобто повинен бути лише один з описаних tokenів. Наприклад для `write` послідовно необхідний token `Write` після якого йде ліва дужка, далі може бути або певний вираз або рядок тексту який необхідно вивести. І закінчується правило токеном правої дужки.

Основна частина програми складається з 3 компонентів: парсера лексем, правил Бекуса-Наура та генератора асемблерного коду. Кожен з цих компонентів працює зі власним інтерфейсом на певному етапі виконання програми.

Кожен токен це окремий клас що наслідує 3 інтерфейси:

- `IToken`
- `IBackusRule`
- `IGeneratorItem`

Наявність наслідування цих інтерфейсів кожним токеном дозволяє без проблем звертатись до кожного віддільного токена на усіх етапах виконання програми

Для процесу парсингу програми використовується інтерфейс `IToken`. Що дозволяє простіше з точки зору реалізації звертатись до токенів при аналізі вхідної програми.

Правила Бекуса-Наура для своєї роботи використовують інтерфейс `IBackusRule`. Це дозволяє викликати функцію перевірки `check` до кожного прописаного у коді правила запису як програми в цілому так і кожного віддільної операції, що спрощує подальший пошук ймовірних помилок у коді програми, яка буде транслюватись у асемблерний код.

Інтерфейс `IGeneratorItem` використовується генератором асемблерного коду при трансляції вхідної програми. Оскільки кожен токен є віддільним класом, то у ньому була реалізована функція `genCode` яка використовується генератором, що дозволяє записати необхідний асемблерний код який буде згенерований певним токеном. Наприклад:

Для класу та токена `Greate` що визначає при порівнянні який елемент більший, функція генерації відповідного коду виглядає наступним чином:

```
void genCode(std::ostream& out, GeneratorDetails& details,
std::list<std::shared_ptr<IGeneratorItem>>::iterator& it,
const std::list<std::shared_ptr<IGeneratorItem>>::iterator& end) const final
{
    RegPROC(details);
    out << "\tcall Greate_\n";
};
```

За допомогою функції `RegPROC` токен за потреби реєструє процедуру у генераторі.

```
static void RegPROC(GeneratorDetails& details)
{
    if (!IsRegistered())
    {
        details.registerProc("Greate_", PrintGreate);
        SetRegistered();
    }
}

static void PrintGreate(std::ostream& out, const GeneratorDetails::GeneratorArgs& args)
{
}
```

```

    out << "===Procedure
Greate=====\\n";
    out << "Greate_ PROC\\n";
    out << "\\tpushf\\n";
    out << "\\tpop cx\\n\\n";
    out << "\\tmov " << args.regPrefix << "ax, [esp + " << args.posArg0 << "]\\n";
    out << "\\tcmp " << args.regPrefix << "ax, [esp + " << args.posArg1 << "]\\n";
    out << "\\tjle greate_false\\n";
    out << "\\tmov " << args.regPrefix << "ax, 1\\n";
    out << "\\tjmp greate_fin\\n";
    out << "greate_false:\\n";
    out << "\\tmov " << args.regPrefix << "ax, 0\\n";
    out << "greate_fin:\\n";
    out << "\\tpush cx\\n";
    out << "\\tpopf\\n\\n";
    GeneratorUtils::PrintResultToStack(out, args);
    out << "\\tret\\n";
    out << "Greate_ ENDP\\n";
    out <<
";=====\\n";
=====\\n";
}

```

Така структура програми дозволяє без проблем аналізувати великі програми, написані на вхідній мові програмування. Також використання правил Бекуса-Наура дозволяє ефективно аналізувати програми великого обсягу.

Генератор у свою чергу буде більш оптимізовано генерувати асемблерний код, створюючи код лише тих операцій, що були використані у вхідній програмі.

## 4.1. Опис інтерфейсу та інструкція користувачеві

Вхідним файлом для даної програми є звичайний текстовий файл з розширенням m19. У цьому файлі необхідно набрати бажану для трансляції програму та зберегти її. Синтаксис повинен відповідати вхідній мові.

Створений транслятор є консольною програмою, що запускається з командної стрічки з параметром: "CWork\_m19.exe <ім'я програми>.m19"

Якщо обидва файли мають місце на диску та правильно сформовані, програма буде запущена на виконання.

Початковою фазою обробки є лексичний аналіз (розбиття на окремі лексеми). Результатом цього етапу є файл lexems.txt, який містить таблицю лексем. Вміст цього файлу складається з 4 полів – 1 – безпосередньо сама лексема; 2 – тип лексеми; 3 – значення лексеми (необхідне для чисел і ідентифікаторів); 4 – рядок, у якому лексема знаходиться. Наступним етапом є перевірка на правильність написання програми (вхідної). Інформацію про наявність чи відсутність помилок можна переглянути у файлі error.txt. Якщо граматичний розбір виконаний успішно, файл буде містити відповідне повідомлення. Інакше, у файлі будуть зазначені помилки з їх описом та вказанням їх місця у тексті програми.

Останнім етапом є генерація коду. Транслятор переходить до цього етапу, лише у випадку, коли відсутні граматичні помилки у вхідній програмі. Згенерований код записується у файлу <ім'я програми>.asm.

Для отримання виконавчого файлу необхідно скористатись програмою Masm32.exe

## 5. Відлагодження та тестування програми

Тестування програмного забезпечення є важливим етапом розробки продукту. На цьому етапі знаходяться помилки допущені на попередніх етапах. Цей етап дозволяє покращити певні характеристики продукту, наприклад – інтерфейс. Дає можливість знайти та вподальшому виправити слабкі сторони, якщо вони є.

Відлагодження даної програми здійснюється за допомогою набору кількох програм, які відповідають заданій граматиці. Та перевірка коректності коду, що генерується, коректності знаходження помилок та розбивки на лексеми.

### 5.1. Виявлення лексичних та синтаксичних помилок

Виявлення лексичних помилок відбувається на стадії лексичного аналізу. Під час розбиття вхідної програми на окремі лексеми відбувається перевірка чи відповідає вхідна лексема граматиці. Якщо ця лексема є в граматиці то вона ідентифікується і в таблиці лексем визначається. У випадку неспівпадіння лексемі присвоюється тип "невпізнаної лексеми". Повідомлення про такі помилки можна побачити лише після виконання процедури перевірки таблиці лексем, яка знаходиться в файлі.

Виявлення синтаксичних помилок відбувається на стадії перевірки програми на коректність окремо від синтаксичного аналізу. При цьому перевіряється окремо кожне твердження яке може бути або виразом, або оператором (циклу, вводу/виводу), або оголошенням, та перевіряється структура програми в цілому.

Приклад виявлення:

#### *Текст програми з помилками*

```
/*Prog1
startprogram
variable i nt_2 _AAAAA,_BBB,_XXXX,_YYYY;
startblok
puet("Input A: ");
get(_AAAA);
put("Input B: ");
get(_BBBB);
put("A + B: ");
put(_AAAA + _BBBB);
put("\nA - B: ");
put(_AAAA - _BBBB);
put("\nA * B: ");
put(_AAAA * _BBBB);
put("\nA / B: ");
put(_AAAA / _BBBB);
```

```

put("\nA % B: ");
put(_AAAA % _BBBB);
_XXXX<-( _AAAA - _BBBB) * 10 + ( _AAAA + _BBBB) / 10;
_YYYY<-_XXXX + (_XXXX % 10);
put("\nX = (A - B) * 10 + (A + B) / 10\n");
put(_XXXX);
put("\nY = X + (X % 10)\n");
put(_YYYY);
endblok

```

### *Текст файлу з повідомленнями про помилки*

List of errors

```

=====
There are 5 lexical errors.
There are 1 syntax errors.
There are 0 semantic errors.

```

```

Line 3: Lexical error: Unknown token: i
Line 3: Lexical error: Unknown token: nt_2
Line 3: Lexical error: Unknown token: _AAAAA
Line 3: Lexical error: Unknown token: _BBB
Line 3: Syntax error: Expected: VarsBlok before i
Line 5: Lexical error: Unknown token: puet

```

## **5.2. Виявлення семантичних помилок**

Суттю виявлення семантичних помилок є перевірка числових констант на відповідність типу `int_2`, тобто знаковому цілому числу з відповідним діапазоном значень і перевірку на коректність використання змінних `int_2` у цілочисельних і логічних виразах.

## **5.3. Загальна перевірка коректності роботи транслятора**

Для того щоб здійснити перевірку коректності роботи транслятора необхідно завантажити коректну до заданої вхідної мови програму.

### *Текст коректної програми*

```

/*Prog1
startprogram
variable int_2 _AAAA,_BBBB,_XXXX,_YYYY;
startblok
put("Input A: ");
get(_AAAA);
put("Input B: ");
get(_BBBB);
put("A + B: ");
put(_AAAA + _BBBB);
put("\nA - B: ");
put(_AAAA - _BBBB);

```

```

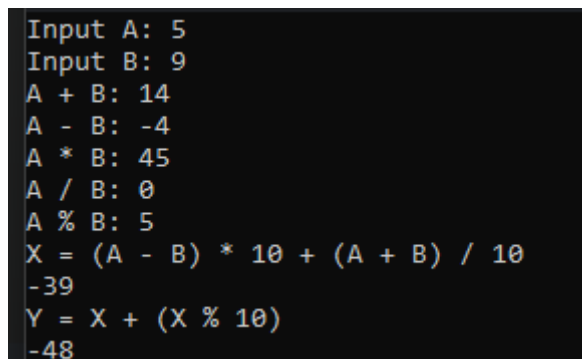
put("\nA * B: ");
put(_AAAA * _BBBB);
put("\nA / B: ");
put(_AAAA / _BBBB);
put("\nA % B: ");
put(_AAAA % _BBBB);
_XXXX<-( _AAAA - _BBBB) * 10 + (_AAAA + _BBBB) / 10;
_YYYY<_XXXX + (_XXXX % 10);
put("\nX = (A - B) * 10 + (A + B) / 10\n");
put(_XXXX);
put("\nY = X + (X % 10)\n");
put(_YYYY);
endblok

```

Оскільки дана програма відповідає граматиці то результати виконання лексичного, синтаксичного аналізів, а також генератора коду будуть позитивними.

В результаті буде отримано асемблерний файл, який є результатом виконання трансляції з заданої вхідної мови на мову Assembler даної програми (його вміст наведений в Додатку А).

Після виконання компіляції даного файлу на виході отримаєм наступний результат роботи програми:



```

Input A: 5
Input B: 9
A + B: 14
A - B: -4
A * B: 45
A / B: 0
A % B: 5
X = (A - B) * 10 + (A + B) / 10
-39
Y = X + (X % 10)
-48

```

Рис. 5.1 Результат виконання коректної програми

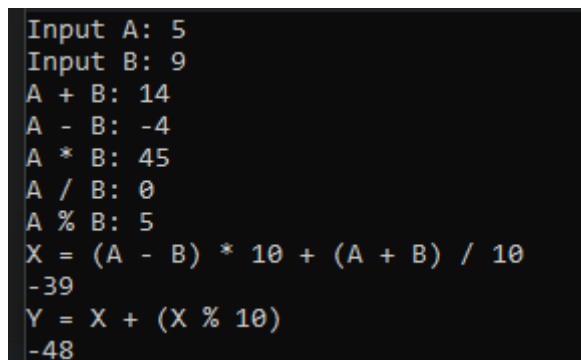
При перевірці отриманого результату, можна зробити висновок про правильність роботи програми, а отже і про правильність роботи транслятора.

## 5.4. Тестова програма №1

### *Текст програми*

```
/*Prog1
startprogram
variable int_2 _AAAA,_BBBB,_XXXX,_YYYY;
startblok
put("Input A: ");
get(_AAAA);
put("Input B: ");
get(_BBBB);
put("A + B: ");
put(_AAAA + _BBBB);
put("\nA - B: ");
put(_AAAA - _BBBB);
put("\nA * B: ");
put(_AAAA * _BBBB);
put("\nA / B: ");
put(_AAAA / _BBBB);
put("\nA % B: ");
put(_AAAA % _BBBB);
_XXXX<-( _AAAA - _BBBB) * 10 + (_AAAA + _BBBB) / 10;
_YYYY<-_XXXX + (_XXXX % 10);
put("\nX = (A - B) * 10 + (A + B) / 10\n");
put(_XXXX);
put("\nY = X + (X % 10)\n");
put(_YYYY);
endblok
```

### *Результат виконання*



```
Input A: 5
Input B: 9
A + B: 14
A - B: -4
A * B: 45
A / B: 0
A % B: 5
X = (A - B) * 10 + (A + B) / 10
-39
Y = X + (X % 10)
-48
```

Рис. 5.2 Результат виконання тестової програми №1



## 5.5. Тестова програма №2

### *Текст програми*

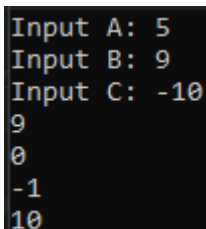
```
/*Prog2
startprogram
variable int_2 _AAAA,_BBBB,_CCCC;
startblok
put("Input A: ");
get(_AAAA);
put("Input B: ");
get(_BBBB);
put("Input C: ");
get(_CCCC);
if(_AAAA gr _BBBB)
startblok
    if(_AAAA gr _CCCC)
    startblok
        goto _ABIG;
    endblok
    else
    startblok
        put(_CCCC);
        goto _OUTI;
        _ABIG:
        put(_AAAA);
        goto _OUTI;
    endblok
endblok
if(_BBBB less _CCCC)
startblok
    put(_CCCC);
endblok
else
startblok
    put(_BBBB);
endblok
_OUTI:
put("\n");
if((_AAAA eq _BBBB) and (_AAAA eq _CCCC) and (_BBBB eq _CCCC))
startblok
    put(1);
endblok
else
startblok
    put(0);
endblok
put("\n");
```

```

if((_AAAA less 0) or (_BBBB less 0) or (_CCCC less 0))
startblok
    put(- 1);
endblok
else
startblok
    put(0);
endblok
put("\n");
if(!(_AAAA less (_BBBB + _CCCC)))
startblok
    put(10);
endblok
else
startblok
    put(0);
endblok
endblok

```

### *Результат виконання*



```

Input A: 5
Input B: 9
Input C: -10
9
0
-1
10

```

Рис. 5.3 Результат виконання тестової програми №2

## **5.6. Тестова програма №3**

### *Текст програми*

```

/*Prog3
startprogram
variable int _2 _AAAA,_AAA2,_BBBB,_XXXX,_CCC1,_CCC2;
startblok
put("Input A: ");
get(_AAAA);
put("Input B: ");
get(_BBBB);
put("for to do");
for _AAA2<=_AAAA to _BBBB do
startblok
    put("\n");
    put(_AAA2 * _AAA2);
endblok
put("\nfor downto do");
for _AAA2<=_BBBB downto _AAAA do

```

```

startblok
    put("\n");
    put(_AAA2 * _AAA2);
endblok

put("\nwhile A * B: ");
_XXXX<-0;
_CCC1<-0;
while(_CCC1 less _AAAA)
startblok
    _CCC2<-0;
    while (_CCC2 less _BBBB)
    startblok
        _XXXX<-_XXXX + 1;
        _CCC2<-_CCC2 + 1;
    endblok
    _CCC1<-_CCC1 + 1;
endblok
put(_XXXX);

put("\nrepeat until A * B: ");
_XXXX<-0;
_CCC1<-1;
repeat
    _CCC2<-1;
    repeat
        _XXXX<-_XXXX + 1;
        _CCC2<-_CCC2 + 1;
    until(!(_CCC2 gr _BBBB))
    _CCC1<-_CCC1 + 1;
until(!(_CCC1 gr _AAAA))
put(_XXXX);

endblok

```

### *Результат виконання*

```
Input A: 5
Input B: 9
for to do
25
36
49
64
81
for downto do
81
64
49
36
25
while A * B: 45
repeat until A * B: 45
```

Рис. 5.4 Результат виконання тестової програми №3

# Висновки

В процесі виконання курсового проекту було виконано наступне:

1. Складено формальний опис мови програмування m19, в термінах розширеної нотації Бекуса-Наура, виділено усі термінальні символи та ключові слова.

2. Створено компілятор мови програмування m19, а саме:

2.1. Розроблено прямий лексичний аналізатор, орієнтований на розпізнавання лексем, що є заявлені в формальному описі мови програмування.

2.2. Розроблено синтаксичний аналізатор на основі низхідного методу. Складено деталізований опис вхідної мови в термінах розширеної нотації Бекуса-Наура

2.3. Розроблено генератор коду, відповідні процедури якого викликаються після перевірки синтаксичним аналізатором коректності запису чергового оператора, мови програмування m19. Вихідним кодом генератора є програма на мові Assembler(x86).

3. Проведене тестування компілятора на тестових програмах за наступними пунктами:

3.1. На виявлення лексичних помилок.

3.2. На виявлення синтаксичних помилок.

3.3. Загальна перевірка роботи компілятора.

Тестування не виявило помилок в роботі компілятор, і всі помилки в тестових програмах на мові m19 були успішно виявлені і відповідно оброблені.

В результаті виконання даної курсового проекту було засвоєно методи розробки та реалізації компонент систем програмування.

# Список використаної літератури

1. Language Processors: Assembler, Compiler and Interpreter  
URL: [Language Processors: Assembler, Compiler and Interpreter - GeeksforGeeks](#)
2. Error Handling in Compiler Design  
URL: [Error Handling in Compiler Design - GeeksforGeeks](#)
3. Symbol Table in Compiler  
URL: [Symbol Table in Compiler - GeeksforGeeks](#)
4. Вікіпедія  
URL: [Wikipedia](#)
5. Stack Overflow  
URL: [Stack Overflow - Where Developers Learn, Share, & Build Careers](#)

# Додатки

## Додаток А (Код на мові Асемблер)

Prog1.asm

.386

.model flat, stdcall

option casemap :none

include masm32\include\windows.inc

include masm32\include\kernel32.inc

include masm32\include\masm32.inc

include masm32\include\user32.inc

include masm32\include\msvcrt.inc

includelib masm32\lib\kernel32.lib

includelib masm32\lib\masm32.lib

includelib masm32\lib\user32.lib

includelib masm32\lib\msvcrt.lib

.DATA

;===User

Data=====

=====

\_AAAA\_ dw 0

\_BBBB\_ dw 0

\_XXXX\_ dw 0

\_YYYY\_ dw 0

DivErrMsg db 13, 10, "Division: Error: division by zero", 0

ModErrMsg db 13, 10, "Mod: Error: division by zero", 0

String\_0 db "Input A: ", 0

String\_1 db "Input B: ", 0

String\_2 db "A + B: ", 0

String\_3 db 13, 10, "A - B: ", 0

String\_4 db 13, 10, "A \* B: ", 0

String\_5 db 13, 10, "A / B: ", 0

String\_6 db 13, 10, "A % B: ", 0

String\_7 db 13, 10, "X = (A - B) \* 10 + (A + B) / 10", 13, 10, 0

String\_8 db 13, 10, "Y = X + (X % 10)", 13, 10, 0

;===Addition

Data=====

=====

hConsoleInputdd ?

hConsoleOutput dd ?

endBuff db 5 dup (?)

msg1310 db 13, 10, 0

CharsReadNum dd ?

InputBuf db 15 dup (?)

OutMessage db "%hd", 0

ResMessage            db     20 dup (?)

.CODE

start:

invoke AllocConsole

invoke GetStdHandle, STD\_INPUT\_HANDLE

mov hConsoleInput, eax

invoke GetStdHandle, STD\_OUTPUT\_HANDLE

mov hConsoleOutput, eax

    invoke WriteConsoleA, hConsoleOutput, ADDR String\_0, SIZEOF String\_0 - 1, 0, 0

    call Input\_

    mov \_AAAA\_, ax

    invoke WriteConsoleA, hConsoleOutput, ADDR String\_1, SIZEOF String\_1 - 1, 0, 0

    call Input\_

    mov \_BBBB\_, ax

    invoke WriteConsoleA, hConsoleOutput, ADDR String\_2, SIZEOF String\_2 - 1, 0, 0

    push \_AAAA\_

    push \_BBBB\_

    call Add\_

    call Output\_

    invoke WriteConsoleA, hConsoleOutput, ADDR String\_3, SIZEOF String\_3 - 1, 0, 0

    push \_AAAA\_

    push \_BBBB\_

    call Sub\_

    call Output\_

    invoke WriteConsoleA, hConsoleOutput, ADDR String\_4, SIZEOF String\_4 - 1, 0, 0

    push \_AAAA\_

    push \_BBBB\_

    call Mul\_

    call Output\_

    invoke WriteConsoleA, hConsoleOutput, ADDR String\_5, SIZEOF String\_5 - 1, 0, 0

    push \_AAAA\_

    push \_BBBB\_

    call Div\_

    call Output\_

    invoke WriteConsoleA, hConsoleOutput, ADDR String\_6, SIZEOF String\_6 - 1, 0, 0

    push \_AAAA\_

    push \_BBBB\_

    call Mod\_

    call Output\_

    push \_AAAA\_

    push \_BBBB\_

    call Sub\_

    push word ptr 10

    call Mul\_

    push \_AAAA\_

    push \_BBBB\_

    call Add\_

    push word ptr 10

    call Div\_



```

    call Add_
    pop _XXXX_
    push _XXXX_
    push _XXXX_
    push word ptr 10
    call Mod_
    call Add_
    pop _YYYY_
    invoke WriteConsoleA, hConsoleOutput, ADDR String_7, SIZEOF String_7 - 1, 0, 0
    push _XXXX_
    call Output_
    invoke WriteConsoleA, hConsoleOutput, ADDR String_8, SIZEOF String_8 - 1, 0, 0
    push _YYYY_
    call Output_
exit_label:
    invoke WriteConsoleA, hConsoleOutput, ADDR msg1310, SIZEOF msg1310 - 1, 0, 0
    invoke ReadConsoleA, hConsoleInput, ADDR endBuff, 5, 0, 0
    invoke ExitProcess, 0

```

```

;===Procedure

```

```

Add=====
=====

```

```

Add_ PROC
    mov ax, [esp + 6]
    add ax, [esp + 4]
    mov [esp + 6], ax
    pop ecx
    pop ax
    push ecx
    ret

```

```

Add_ ENDP

```

```

;=====
=====

```

```

;===Procedure

```

```

Div=====
=====

```

```

Div_ PROC
    pushf
    pop cx

    mov ax, [esp + 4]
    cmp ax, 0
    jne end_check
    invoke WriteConsoleA, hConsoleOutput, ADDR DivErrMsg, SIZEOF DivErrMsg - 1, 0, 0
    jmp exit_label
end_check:
    mov ax, [esp + 6]

```

```

        cmp ax, 0
        jge gr
lo:
        mov dx, -1
        jmp less_fin
gr:
        mov dx, 0
less_fin:
        mov ax, [esp + 6]
        idiv word ptr [esp + 4]
        push cx
        popf

        mov [esp + 6], ax
        pop ecx
        pop ax
        push ecx
        ret
Div_ ENDP
;=====
=====

;===Procedure
Input=====
=====
        Input_ PROC
            invoke ReadConsoleA, hConsoleInput, ADDR InputBuf, 13, ADDR CharsReadNum, 0
            invoke crt_atoi, ADDR InputBuf
            ret
        Input_ ENDP
;=====
=====

;===Procedure
Mod=====
=====
        Mod_ PROC
            pushf
            pop cx

            mov ax, [esp + 4]
            cmp ax, 0
            jne end_check
            invoke WriteConsoleA, hConsoleOutput, ADDR ModErrMsg, SIZEOF ModErrMsg - 1, 0,
0
            jmp exit_label
        end_check:
            mov ax, [esp + 6]

```

```

        cmp ax, 0
        jge gr
lo:
        mov dx, -1
        jmp less_fin
gr:
        mov dx, 0
less_fin:
        mov ax, [esp + 6]
        idiv word ptr [esp + 4]
        mov ax, dx
        push cx
        popf

        mov [esp + 6], ax
        pop ecx
        pop ax
        push ecx
        ret
Mod_ ENDP
;=====
=====

;===Procedure
Mul=====
=====
Mul_ PROC
        mov ax, [esp + 6]
        imul word ptr [esp + 4]
        mov [esp + 6], ax
        pop ecx
        pop ax
        push ecx
        ret
Mul_ ENDP
;=====
=====

;===Procedure
Output=====
=====
Output_ PROC value: word
        invoke wsprintf, ADDR ResMessage, ADDR OutMessage, value
        invoke WriteConsoleA, hConsoleOutput, ADDR ResMessage, eax, 0, 0
        ret 2
Output_ ENDP
;=====
=====

```

```

;===Procedure
Sub=====
=====
Sub_ PROC
    mov ax, [esp + 6]
    sub ax, [esp + 4]
    mov [esp + 6], ax
    pop ecx
    pop ax
    push ecx
    ret
Sub_ ENDP
;=====
=====

end start
Prog2.asm
.386
.model flat, stdcall
option casemap :none

include masm32\include\windows.inc
include masm32\include\kernel32.inc
include masm32\include\masm32.inc
include masm32\include\user32.inc
include masm32\include\msvcrt.inc
includelib masm32\lib\kernel32.lib
includelib masm32\lib\masm32.lib
includelib masm32\lib\user32.lib
includelib masm32\lib\msvcrt.lib

.DATA
;===User
Data=====
=====
    _AAAA_    dw    0
    _BBBB_    dw    0
    _CCCC_    dw    0

    String_0   db    "Input A: ", 0
    String_1   db    "Input B: ", 0
    String_2   db    "Input C: ", 0
    String_3   db    13, 10, 0
    String_4   db    13, 10, 0
    String_5   db    13, 10, 0

;===Addition
Data=====
=====

```

hConsoleInput	dd	?	
hConsoleOutput	dd	?	
endBuff		db	5 dup (?)
msg1310		db	13, 10, 0

CharsReadNum	dd	?
InputBuf	db	15 dup (?)
OutMessage	db	"%hd", 0
ResMessage	db	20 dup (?)

.CODE

start:

invoke AllocConsole

invoke GetStdHandle, STD\_INPUT\_HANDLE

mov hConsoleInput, eax

invoke GetStdHandle, STD\_OUTPUT\_HANDLE

mov hConsoleOutput, eax

invoke WriteConsoleA, hConsoleOutput, ADDR String\_0, SIZEOF String\_0 - 1, 0, 0

call Input\_

mov \_AAAA\_, ax

invoke WriteConsoleA, hConsoleOutput, ADDR String\_1, SIZEOF String\_1 - 1, 0, 0

call Input\_

mov \_BBBB\_, ax

invoke WriteConsoleA, hConsoleOutput, ADDR String\_2, SIZEOF String\_2 - 1, 0, 0

call Input\_

mov \_CCCC\_, ax

push \_AAAA\_

push \_BBBB\_

call Greate\_

pop ax

cmp ax, 0

je endIf2

push \_AAAA\_

push \_CCCC\_

call Greate\_

pop ax

cmp ax, 0

je elseLabel1

jmp \_ABIG\_

jmp endIf1

elseLabel1:

push \_CCCC\_

call Output\_

jmp \_OUTI\_

\_ABIG\_:

push \_AAAA\_

call Output\_

jmp \_OUTI\_

endIf1:

endIf2:

```

    push _BBBB_
    push _CCCC_
    call Less_
    pop ax
    cmp ax, 0
    je elseLabel3
    push _CCCC_
    call Output_
    jmp endIf3
elseLabel3:
    push _BBBB_
    call Output_
endIf3:
_OUTI_:
    invoke WriteConsoleA, hConsoleOutput, ADDR String_3, SIZEOF String_3 - 1, 0, 0
    push _AAAA_
    push _BBBB_
    call Equal_
    push _AAAA_
    push _CCCC_
    call Equal_
    call And_
    push _BBBB_
    push _CCCC_
    call Equal_
    call And_
    pop ax
    cmp ax, 0
    je elseLabel4
    push word ptr 1
    call Output_
    jmp endIf4
elseLabel4:
    push word ptr 0
    call Output_
endIf4:
    invoke WriteConsoleA, hConsoleOutput, ADDR String_4, SIZEOF String_4 - 1, 0, 0
    push _AAAA_
    push word ptr 0
    call Less_
    push _BBBB_
    push word ptr 0
    call Less_
    call Or_
    push _CCCC_
    push word ptr 0
    call Less_
    call Or_
    pop ax
    cmp ax, 0

```

```

        je elseLabel5
        push word ptr -1
        call Output_
        jmp endIf5
elseLabel5:
        push word ptr 0
        call Output_
endIf5:
        invoke WriteConsoleA, hConsoleOutput, ADDR String_5, SIZEOF String_5 - 1, 0, 0
        push _AAAA_
        push _BBBB_
        push _CCCC_
        call Add_
        call Less_
        call Not_
        pop ax
        cmp ax, 0
        je elseLabel6
        push word ptr 10
        call Output_
        jmp endIf6
elseLabel6:
        push word ptr 0
        call Output_
endIf6:
exit_label:
        invoke WriteConsoleA, hConsoleOutput, ADDR msg1310, SIZEOF msg1310 - 1, 0, 0
        invoke ReadConsoleA, hConsoleInput, ADDR endBuff, 5, 0, 0
        invoke ExitProcess, 0

```

```

;===Procedure

```

```

Add=====
=====

```

```

Add_ PROC
        mov ax, [esp + 6]
        add ax, [esp + 4]
        mov [esp + 6], ax
        pop ecx
        pop ax
        push ecx
        ret
Add_ ENDP

```

```

;=====
=====

```

```

;===Procedure

```

```

And=====
=====

```

And\_ PROC

pushf  
pop cx

mov ax, [esp + 6]  
cmp ax, 0  
jnz and\_t1  
jz and\_false

and\_t1:

mov ax, [esp + 4]  
cmp ax, 0  
jnz and\_true

and\_false:

mov ax, 0  
jmp and\_fin

and\_true:

mov ax, 1

and\_fin:

push cx  
popf

mov [esp + 6], ax  
pop ecx  
pop ax  
push ecx  
ret

And\_ ENDP

=====

====Procedure

Equal=====

Equal\_ PROC

pushf  
pop cx

mov ax, [esp + 6]  
cmp ax, [esp + 4]  
jne equal\_false  
mov ax, 1  
jmp equal\_fin

equal\_false:

mov ax, 0

equal\_fin:

push cx  
popf

mov [esp + 6], ax



```

        pop ecx
        pop ax
        push ecx
        ret
Equal_ ENDP
;=====
=====

;===Procedure
Greate=====
=====
Greate_ PROC
    pushf
    pop cx

    mov ax, [esp + 6]
    cmp ax, [esp + 4]
    jle greate_false
    mov ax, 1
    jmp greate_fin
greate_false:
    mov ax, 0
greate_fin:
    push cx
    popf

    mov [esp + 6], ax
    pop ecx
    pop ax
    push ecx
    ret
Greate_ ENDP
;=====
=====

;===Procedure
Input=====
=====
Input_ PROC
    invoke ReadConsoleA, hConsoleInput, ADDR InputBuf, 13, ADDR CharsReadNum, 0
    invoke crt_atoi, ADDR InputBuf
    ret
Input_ ENDP
;=====
=====

```

```

;===Procedure
Less=====
=====
Less_ PROC
    pushf
    pop cx

    mov ax, [esp + 6]
    cmp ax, [esp + 4]
    jge less_false
    mov ax, 1
    jmp less_fin
less_false:
    mov ax, 0
less_fin:
    push cx
    popf

    mov [esp + 6], ax
    pop ecx
    pop ax
    push ecx
    ret
Less_ ENDP
;=====
=====

```

```

;===Procedure
Not=====
=====
Not_ PROC
    pushf
    pop cx

    mov ax, [esp + 4]
    cmp ax, 0
    jnz not_false
not_t1:
    mov ax, 1
    jmp not_fin
not_false:
    mov ax, 0
not_fin:
    push cx
    popf

    mov [esp + 4], ax
    ret
Not_ ENDP

```

```

;=====
=====

;===Procedure
Or=====
=====
Or_ PROC
    pushf
    pop cx

    mov ax, [esp + 6]
    cmp ax, 0
    jnz or_true
    jz or_t1
or_t1:
    mov ax, [esp + 4]
    cmp ax, 0
    jnz or_true
or_false:
    mov ax, 0
    jmp or_fin
or_true:
    mov ax, 1
or_fin:
    push cx
    popf

    mov [esp + 6], ax
    pop ecx
    pop ax
    push ecx
    ret
Or_ ENDP
;=====
=====

;===Procedure
Output=====
=====
Output_ PROC value: word
    invoke wsprintf, ADDR ResMessage, ADDR OutMessage, value
    invoke WriteConsoleA, hConsoleOutput, ADDR ResMessage, eax, 0, 0
    ret 2
Output_ ENDP
;=====
=====
end start

```

### Prog3.asm

.386

.model flat, stdcall

option casemap :none

include masm32\include\windows.inc

include masm32\include\kernel32.inc

include masm32\include\masm32.inc

include masm32\include\user32.inc

include masm32\include\msvcrt.inc

includelib masm32\lib\kernel32.lib

includelib masm32\lib\masm32.lib

includelib masm32\lib\user32.lib

includelib masm32\lib\msvcrt.lib

.DATA

;===User

Data=====

=====

\_AAA2\_ dw 0

\_AAAA\_ dw 0

\_BBBB\_ dw 0

\_CCC1\_ dw 0

\_CCC2\_ dw 0

\_XXXX\_ dw 0

String\_0 db "Input A: ", 0

String\_1 db "Input B: ", 0

String\_2 db "for to do", 0

String\_3 db 13, 10, 0

String\_4 db 13, 10, "for downto do", 0

String\_5 db 13, 10, 0

String\_6 db 13, 10, "while A \* B: ", 0

String\_7 db 13, 10, "repeat until A \* B: ", 0

;===Addition

Data=====

=====

hConsoleInputdd ?

hConsoleOutput dd ?

endBuff db 5 dup (?)

msg1310 db 13, 10, 0

CharsReadNum dd ?

InputBuf db 15 dup (?)

OutMessage db "%hd", 0

ResMessage db 20 dup (?)

.CODE

```

start:
invoke AllocConsole
invoke GetStdHandle, STD_INPUT_HANDLE
mov hConsoleInput, eax
invoke GetStdHandle, STD_OUTPUT_HANDLE
mov hConsoleOutput, eax
    invoke WriteConsoleA, hConsoleOutput, ADDR String_0, SIZEOF String_0 - 1, 0, 0
    call Input_
    mov _AAAA_, ax
    invoke WriteConsoleA, hConsoleOutput, ADDR String_1, SIZEOF String_1 - 1, 0, 0
    call Input_
    mov _BBBB_, ax
    invoke WriteConsoleA, hConsoleOutput, ADDR String_2, SIZEOF String_2 - 1, 0, 0
    push _AAAA_
    pop _AAA2_
forPasStart1:
    push _BBBB_
    push _AAA2_
    call Less_
    call Not_
    pop ax
    cmp ax, 0
    je forPasEnd1
    invoke WriteConsoleA, hConsoleOutput, ADDR String_3, SIZEOF String_3 - 1, 0, 0
    push _AAA2_
    push _AAA2_
    call Mul_
    call Output_
    push _AAA2_
    push word ptr 1
    call Add_
    pop _AAA2_
    jmp forPasStart1
forPasEnd1:
    invoke WriteConsoleA, hConsoleOutput, ADDR String_4, SIZEOF String_4 - 1, 0, 0
    push _BBBB_
    pop _AAA2_
forPasStart2:
    push _AAAA_
    push _AAA2_
    call Greate_
    call Not_
    pop ax
    cmp ax, 0
    je forPasEnd2
    invoke WriteConsoleA, hConsoleOutput, ADDR String_5, SIZEOF String_5 - 1, 0, 0
    push _AAA2_
    push _AAA2_
    call Mul_
    call Output_

```

```

    push _AAA2_
    push word ptr 1
    call Sub_
    pop _AAA2_
    jmp forPasStart2
forPasEnd2:
    invoke WriteConsoleA, hConsoleOutput, ADDR String_6, SIZEOF String_6 - 1, 0, 0
    push word ptr 0
    pop _XXXX_
    push word ptr 0
    pop _CCC1_
whileStart2:
    push _CCC1_
    push _AAAA_
    call Less_
    pop ax
    cmp ax, 0
    je whileEnd2
    push word ptr 0
    pop _CCC2_
whileStart1:
    push _CCC2_
    push _BBBB_
    call Less_
    pop ax
    cmp ax, 0
    je whileEnd1
    push _XXXX_
    push word ptr 1
    call Add_
    pop _XXXX_
    push _CCC2_
    push word ptr 1
    call Add_
    pop _CCC2_
    jmp whileStart1
whileEnd1:
    push _CCC1_
    push word ptr 1
    call Add_
    pop _CCC1_
    jmp whileStart2
whileEnd2:
    push _XXXX_
    call Output_
    invoke WriteConsoleA, hConsoleOutput, ADDR String_7, SIZEOF String_7 - 1, 0, 0
    push word ptr 0
    pop _XXXX_
    push word ptr 1
    pop _CCC1_

```

```

repeatStart2:
    push word ptr 1
    pop _CCC2_
repeatStart1:
    push _XXXX_
    push word ptr 1
    call Add_
    pop _XXXX_
    push _CCC2_
    push word ptr 1
    call Add_
    pop _CCC2_
    push _CCC2_
    push _BBBB_
    call Greate_
    call Not_
    pop ax
    cmp ax, 0
    je repeatEnd1
    jmp repeatStart1
repeatEnd1:
    push _CCC1_
    push word ptr 1
    call Add_
    pop _CCC1_
    push _CCC1_
    push _AAAA_
    call Greate_
    call Not_
    pop ax
    cmp ax, 0
    je repeatEnd2
    jmp repeatStart2
repeatEnd2:
    push _XXXX_
    call Output_
exit_label:
invoke WriteConsoleA, hConsoleOutput, ADDR msg1310, SIZEOF msg1310 - 1, 0, 0
invoke ReadConsoleA, hConsoleInput, ADDR endBuff, 5, 0, 0
invoke ExitProcess, 0

```

====Procedure

Add=====

=====

```

Add_ PROC
    mov ax, [esp + 6]
    add ax, [esp + 4]
    mov [esp + 6], ax
    pop ecx

```

```

        pop ax
        push ecx
        ret
Add_ ENDP
;=====
=====

;===Procedure
Greate=====
=====
Greate_ PROC
    pushf
    pop cx

    mov ax, [esp + 6]
    cmp ax, [esp + 4]
    jle greate_false
    mov ax, 1
    jmp greate_fin
greate_false:
    mov ax, 0
greate_fin:
    push cx
    popf

    mov [esp + 6], ax
    pop ecx
    pop ax
    push ecx
    ret
Greate_ ENDP
;=====
=====

;===Procedure
Input=====
=====
Input_ PROC
    invoke ReadConsoleA, hConsoleInput, ADDR InputBuf, 13, ADDR CharsReadNum, 0
    invoke crt_atoi, ADDR InputBuf
    ret
Input_ ENDP
;=====
=====

```



```

;===Procedure
Less=====
=====
Less_ PROC
    pushf
    pop cx

    mov ax, [esp + 6]
    cmp ax, [esp + 4]
    jge less_false
    mov ax, 1
    jmp less_fin
less_false:
    mov ax, 0
less_fin:
    push cx
    popf

    mov [esp + 6], ax
    pop ecx
    pop ax
    push ecx
    ret
Less_ ENDP
;=====
=====

```

```

;===Procedure
Mul=====
=====
Mul_ PROC
    mov ax, [esp + 6]
    imul word ptr [esp + 4]
    mov [esp + 6], ax
    pop ecx
    pop ax
    push ecx
    ret
Mul_ ENDP
;=====
=====

```

```

;===Procedure
Not=====
=====
Not_ PROC
    pushf
    pop cx

```

```

        mov ax, [esp + 4]
        cmp ax, 0
        jnz not_false
not_t1:
        mov ax, 1
        jmp not_fin
not_false:
        mov ax, 0
not_fin:
        push cx
        popf

        mov [esp + 4], ax
        ret
Not_ ENDP
;=====
=====

;===Procedure
Output=====
=====
Output_ PROC value: word
        invoke wsprintf, ADDR ResMessage, ADDR OutMessage, value
        invoke WriteConsoleA, hConsoleOutput, ADDR ResMessage, eax, 0, 0
        ret 2
Output_ ENDP
;=====
=====

;===Procedure
Sub=====
=====
Sub_ PROC
        mov ax, [esp + 6]
        sub ax, [esp + 4]
        mov [esp + 6], ax
        pop ecx
        pop ax
        push ecx
        ret
Sub_ ENDP
;=====
=====

end start

```