

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 №4

Виконав: ст. гр. КІ-309
Гаврилюк Владислав
Перевірив:
Козак Н. Б.

Львів-2024

Анотація

Цей курсовий проект приводить до розробки транслятора, який здатен конвертувати вхідну мову, визначену відповідно до варіанту, у мову С. 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 коду на мові С для кожного блоку лексем. Отриманий код записується у результуючий файл, готовий для виконання.

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.....	19
3.3.2. Опис програми реалізації лексичного аналізатора	19
3.4. Розробка синтаксичного та семантичного аналізатора	21
3.4.1. Опис програми реалізації синтаксичного та семантичного аналізатора	23
3.4.2. Розробка граф-схеми алгоритму	28
3.5. Розробка генератора коду	28
3.5.1. Розробка граф-схеми алгоритму	30
3.5.2. Опис програми реалізації генератора коду.....	31
4. Опис програми	35
4.1. Опис інтерфейсу та інструкція користувачеві.....	38
5. Відлагодження та тестування програми.....	39
5.1. Виявлення лексичних та синтаксичних помилок	39
5.2. Виявлення семантичних помилок	40
5.3. Загальна перевірка коректності роботи транслятора.....	40
5.4. Тестова програма №1.....	42
5.5. Тестова програма №2.....	43
5.6. Тестова програма №3.....	44
Висновки.....	46
Список використаної літератури	47
Додатки.....	48

Завдання до курсового проекту

Варіант 4

Завдання на курсовий проект

1. Цільова мова транслятора – мова програмування C.
2. Для отримання виконавчого файлу на виході розробленого транслятора скористатися середовищем Microsoft Visual Studio або будь-яким іншим.
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 C;*
 - *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 .h04

Опис вхідної мови програмування:

- Тип даних: INTEGER32
- Блок тіла програми: #PROGRAM <name>; START VARIABLE...; STOP
- 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: Up
- Регістр ідентифікаторів: Up12_
- Операції арифметичні: +, -, *, DIV, MOD
- Операції порівняння: =, <>, >=, <=
- Операції логічні: !!, AND, OR
- Коментар: //...

- Ідентифікатори змінних, числові константи
- Оператор присвоєння: `<==`

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 (лексми), 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 іншій цільовій мові програмування, такій як С. Наведене визначення застосовне до різноманітних транслуючих 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.

Компілятор - обслуговуюча програма, яка виконує трансляцію програми, написаної мовою оригіналу програмування, в іншу мову, наприклад, мову С. Схоже до асемблера, компілятор виконує перетворення програми з однієї мови в іншу, часто генеруючи код, який може бути виконаний іншими компіляторами.

Інтерпретатор - це програма чи пристрій, що виконує пооператорну трансляцію та виконання вихідної програми. Відмінно від компілятора, інтерпретатор не створює на виході нову програму мовою С. 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 створення коду мовою С, з урахуванням ефективності його виконання.

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

Під час процесу виділення лексем лексичний аналізатор може виконувати дві основні функції: автоматичну побудову таблиць об'єктів (таких як ідентифікатори, рядки, числа тощо) 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 граматик. 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 у внутрішнє представлення. Це здійснюється з метою оптимізації та/або для полегшення генерації коду мовою C. Крім того, перетворення програми у внутрішнє представлення може бути використано для створення переносимого транслятора. У цьому випадку, тільки остання фаза (генерація коду) є залежною від конкретної архітектури. В якості внутрішнього представлення може використовуватися 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-незалежні оптимізації орієнтовані на спрощення коду або видалення надлишкових обчислень, тоді як машинно-залежні оптимізації проводяться на етапі генерації коду.

Фінальна фаза трансляції - генерація коду мовою C. На цьому етапі можуть застосовуватися деякі локальні оптимізації для полегшення генерації ефективного та читабельного коду.

Важливо відзначити, що фази транслятора можуть бути відсутніми або об'єднаними залежно від конкретної реалізації. У простіших випадках, таких як однопрохідні транслятори, може бути відсутній окремий етап генерації проміжного представлення та оптимізації, а інші фази можуть бути об'єднані в одну, без створення 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 (extended Backus/Naur Form - EBNF).

```
program = "#PROGRAM", "START", {"VARIABLE", variable_declaration, ";"},
{statement, ";"}, "STOP";

variable_declaration = "INTEGER32", variable_list;

variable_list = identifier, {"", identifier};

identifier = up_letter, up_letter, up_letter, up_letter, up_letter, up_letter,
up_letter, up_letter, up_letter, up_letter, up_letter;

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

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

digit = "0" | "1" | "2" | "3" | "4" | "5" | "6" | "7" | "8" | "9" ;

statement = input_statement | output_statement | assign_statement |
if_else_statement | goto_statement | label_point | for_statement |
while_statement | repeat_until_statement | compound_statement;

input_statement = "GET", identifier;

output_statement = "PUT", arithmetic_expression;

arithmetic_expression = low_priority_expression {low_priority_operator,
low_priority_expression};

low_priority_operator = "+" | "-";

low_priority_expression = middle_priority_expression {middle_priority_operator,
middle_priority_expression};

middle_priority_operator = "*" | "DIV" | "MOD";

middle_priority_expression = identifier | number | "(", arithmetic_expression,
")";

number = ["-"], (nonzero_digit, {digit} | "0") ;

nonzero_digit = "1" | "2" | "3" | "4" | "5" | "6" | "7" | "8" | "9";

assign_statement = arithmetic_expression, "<==", identifier;
```

```

if_else_statement = "IF", "(", logical_expression, ")", {
statement_in_while_body},";", ["ELSE", {statement_in_while_body}, ";"];

logical_expression = and_expression {or_operator, and_expression};

or_operator = "OR";

and_expression = comparison {and_operator, and_expression};

and_operator = "AND";

comparison = comparison_expression | [not_operator] "(", logical_expression,
");";

not_operator = "!";

comparison_expression = arithmetic_expression comparison_operator
arithmetic_expression;

comparison_operator = "=" | "<=" | ">=" | "<>";

comment = "LComment", text;

LComment = //;

goto_statement = "GOTO", identifier;

label_point = identifier, ":";

for_to_statement = "FOR", assign_statement, ("TO" | "DOWNTO"),
arithmetic_expression, "DO", {statement}, ";";

statement_in_while_body= statement | ("CONTINUE", "WHILE") | ("EXIT", "WHILE");

while_statement = "WHILE", logical_expression, {statement_in_while}, "EXIT",
"WHILE";

repeat_until_statement = "REPEAT", {statement}, "UNTIL", logical_expression;

```

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
#PROGRAM	Початок програми
START	Початок тексту програми
VARIABLE	Початок блоку опису змінних
STOP	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
CONTINUE	Оператор циклу
EXIT	Оператор циклу
REPEAT	Початок тіла циклу
UNTIL	Оператор циклу
+	Оператор додавання

-	Оператор віднімання
*	Оператор множення
DIV	Оператор ділення
MOD	Оператор знаходження залишку від ділення
=	Оператор перевірки на рівність
<>	Оператор перевірки на нерівність
<=	Оператор перевірки чи менше
>=	Оператор перевірки чи більше
!	Оператор логічного заперечення
AND	Оператор кон'юнкції
OR	Оператор диз'юнкції
INTEGER32	32-ох розрядні знакові цілі
//...	Коментар
,	Розділювач
(	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 наступні:

- 1) Таблиця лексем з елементами, які мають таку структуру:

```
struct Token
{
    char name[16];           // ім'я лексеми
    int value;               // значення лексеми (для цілих констант)
    int line;               // номер рядка
    TypeOfTokens type;      // тип лексеми
};
```

- 2) Таблиця лексичних класів

```
enum TypeOfTokens
{
    Mainprogram,
    StartProgram,
    Variable,
    Type,
    EndProgram,
    Input,
    Output,

    If,
    Else,

    Goto,
    Label,

    For,
    To,
    DownTo,
    Do,

    While,
    Exit,
    Continue,
    End,

    Repeat,
    Until,

    Identifier,
    Number,
    Assign,
    Add,
    Sub,
    Mul,
    Div,
    Mod,
    Equality,
    NotEquality,
    Greate,
    Less,
    Not,
    And,
    Or,
    LBraket,
    RBraket,
    Semicolon,
    Colon,
```

```
Comma,  
Unknown  
};
```

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	#PROGRAM
Start	START
Vars	VARIABLE
End	STOP
VarType	INTEGER32
Read	GET
Write	PUT
Assignment	<==
If	IF
Else	ELSE
Goto	GOTO
Colon	:
Label	
For	FOR
To	TO
DownTo	DOWNTO
Do	DO
While	WHILE
Continue	CONTINUE
Exit	EXIT
Repeat	REPEAT
Until	UNTIL
Addition	+

Subtraction	-
Multiplication	*
Division	DIV
Mod	MOD
Equal	=
NotEqual	<>
Less	<=
Greate	>=
Not	!
And	AND
Or	OR
Identifier	
Number	
Unknown	
Comma	,
Semicolon	;
LBraket	(
RBraket)
LComment	//
RComment	
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

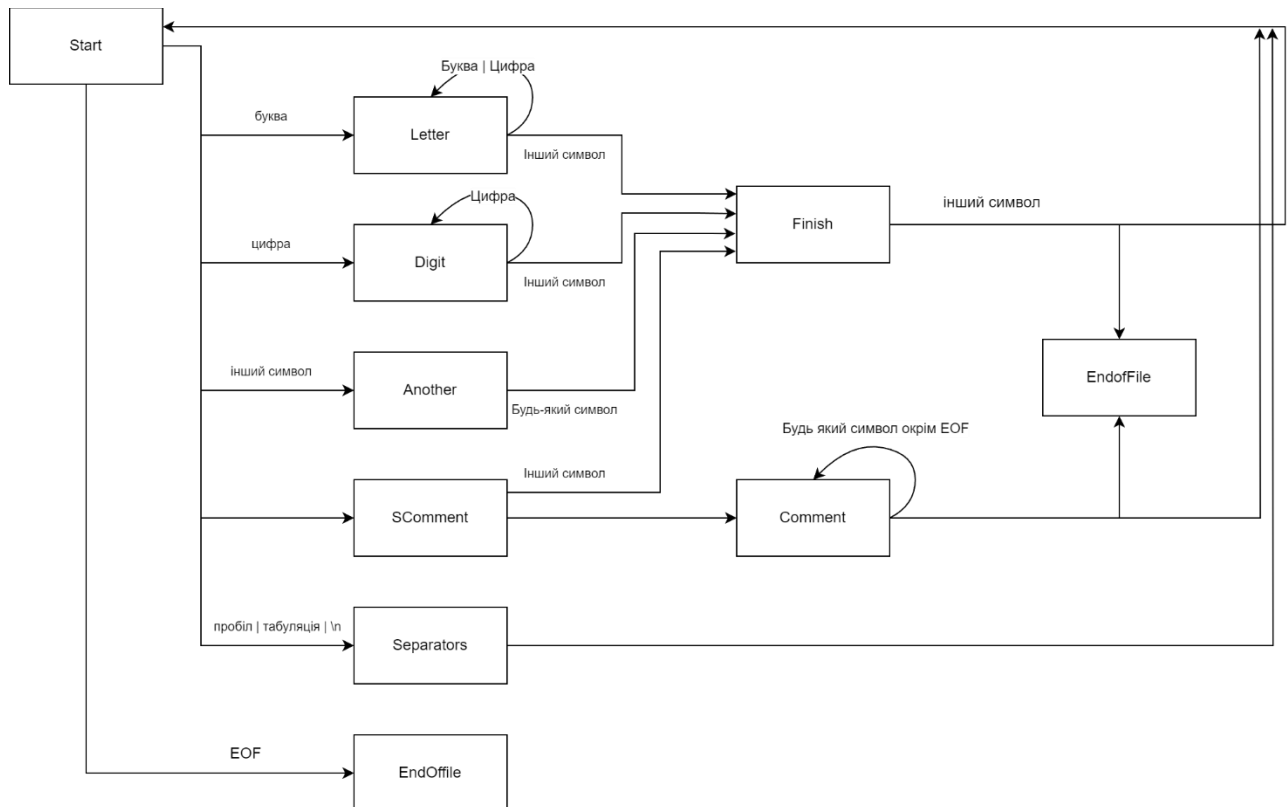


Рис. 3.1 Блок-схема роботи лексичного аналізатора

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 `Parser()`. Вона зчитує з файлу його вміст та кожен 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 таблицю 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, 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 вхідної 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.

Етапи розробки семантичного аналізатора:

1. **Побудова абстрактного синтаксичного дерева (AST):** Синтаксичний аналізатор створює AST, яке представляє структуру програми у вигляді дерева. AST є вхідними даними для семантичного аналізатора.
2. **Побудова таблиці символів:** Таблиця символів – це структура даних, що зберігає інформацію про всі ідентифікатори (змінні, функції, типи) в програмі, включаючи їхні типи, область видимості та інші атрибути.
3. **Семантичний обхід AST:** Семантичний аналізатор обходить AST, виконуючи семантичні перевірки для кожного вузла.

Основні семантичні перевірки:

- **Перевірка типів (Type checking):**
 - **Сумісність типів в операціях:** Перевірка, чи є типи операндів сумісними з оператором. Наприклад, операція додавання (+) має бути визначена для числових типів, а не для рядків.
 - **Присвоєння:** Перевірка, чи тип значення, що присвоюється, сумісний з типом змінної.
 - **Виклик функцій:** Перевірка, чи типи фактичних аргументів відповідають типам формальних параметрів функції.
- **Перевірка оголошень (Declaration checking):**
 - Перевірка, чи всі використані ідентифікатори були оголошені.
 - Перевірка на повторне оголошення ідентифікаторів в одній області видимості.
- **Перевірка видимості (Scope checking):**
 - Перевірка, чи доступний ідентифікатор в даній точці програми.
- **Перевірка потоку керування (Control flow checking):**
 - Перевірка, чи всі шляхи виконання функції повертають значення (для функцій, що повертають значення).
 - Перевірка на недосяжний код.

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.

Аналізатор працює за принципом рекурсивного спуску, де кожне правило граматики реалізується окремою функцією.

Основні етапи роботи аналізатора:

1. **Ініціалізація:** Виклик функції `Parser()`, яка починає аналіз програми.
2. **Аналіз програми:** Функція `program()` аналізує основну структуру програми, включаючи оголошення змінних та тіло програми.
3. **Аналіз операторів:** Функція `statement()` визначає тип оператора (ввід, вивід, умовний оператор, присвоєння тощо) та викликає відповідну функцію для його аналізу.
4. **Аналіз виразів:** Функції `arithmetic_expression()`, `term()`, `factor()` аналізують арифметичні вирази, включаючи операції додавання, віднімання, множення та ділення.
5. **Аналіз умов:** Функції `logical_expression()`, `and_expression()`, `comparison()` аналізують логічні вирази та операції порівняння.

Основні функції

- **`program()`:** Аналізує основну структуру програми.
- **`variable_declaration()`:** Аналізує оголошення змінних.
- **`variable_list()`:** Аналізує список змінних.
- **`program_body()`:** Аналізує тіло програми.
- **`statement()`:** Визначає тип оператора та викликає відповідну функцію для його аналізу.
- **`assignment()`:** Аналізує оператор присвоєння.

- **arithmetic_expression()**: Аналізує арифметичний вираз.
- **term()**: Аналізує доданок у виразі.
- **factor()**: Аналізує множник у виразі.
- **input()**: Аналізує оператор вводу.
- **output()**: Аналізує оператор виводу.
- **conditional()**: Аналізує умовний оператор.
- **goto_statement()**: Аналізує оператор переходу.
- **label_statement()**: Аналізує мітку.
- **for_to_do()**: Аналізує цикл for з інкрементом.
- **for_downto_do()**: Аналізує цикл for з декрементом.
- **while_statement()**: Аналізує цикл while.
- **repeat_until()**: Аналізує цикл repeat until.
- **logical_expression()**: Аналізує логічний вираз.
- **and_expression()**: Аналізує логічний вираз з операцією AND.
- **comparison()**: Аналізує операції порівняння.
- **compound_statement()**: Аналізує складений оператор.

Цей аналізатор забезпечує перевірку синтаксичної коректності програми та виявлення синтаксичних помилок. Якщо виявляється помилка, аналізатор виводить повідомлення про помилку та завершує роботу.

Кожне правило EBNF перетворюється на окрему функцію. Наприклад:

- `program = "#PROGRAM", identifier, ":", varsBlok, ":", operators, "STOP", ".";` стане функцією `program()`.
- `assignment = identifier, "<==", equation, ":",` стане функцією `assignment()`.

2. Рекурсивний спуск:

Функції викликають одна одну відповідно до структури граматики. Наприклад, функція `program()` викликає функції `identifier()`, `varsBlok()`, `operators()`. Функція `operators()` може викликати `assignment()`, `ifStatement()`, `whileStatement()` тощо. Це і є рекурсивний спуск.

3. Перевірка терміналів:

У середині кожної функції відбувається перевірка, чи відповідає поточна лексема вхідного потоку очікуваному терміналу. Наприклад, у функції `program()` перевіряється, чи наступна лексема – це `"#PROGRAM"`. Якщо ні, генерується синтаксична помилка.

4. Обробка нетерміналів:

Коли функція зустрічає нетермінал, вона викликає відповідну функцію для його обробки. Наприклад, у функції `assignment()` після ідентифікатора очікується

оператор "<===". Якщо його немає, генерується помилка. Далі викликається функція `equation()` для обробки виразу.

5. Обробка альтернатив (|):

Якщо в правилі EBNF є оператор `|` (або), функція перевіряє кожну альтернативу по черзі. Наприклад:

```
operator = read | write | assignment | ...;
```

Функція `operator()` спробує розпізнати `read()`. Якщо не вдається, вона спробує `write()`, потім `assignment()` і так далі.

6. Обробка повторень ({ }):

Повторення в EBNF (`{ }`) реалізуються за допомогою циклів у коді. Наприклад:

```
operators = { operator };
```

У коді буде цикл, який викликає функцію `operator()` до тих пір, поки не буде досягнуто кінець вхідного потоку або не буде знайдено помилку.

7. Обробка необов'язкових елементів ([]):

Необов'язкові елементи реалізуються за допомогою умовних операторів. Наприклад:

```
ifStatement = "IF-ELSE", "(", condition, ")", operators, ["ELSE", operators], ";";
```

У коді буде перевірка, чи є наступна лексема "ELSE". Якщо є, викликається відповідний код для обробки блоку ELSE.

Засоби перевірки EBNF:

1. **Тестування з різними вхідними програмами:** Створення набору тестових програм, які охоплюють всі можливі випадки, включаючи коректні та некоректні програми. Аналізатор повинен успішно розпізнавати коректні програми та генерувати помилки для некоректних.
2. **Перевірка обробки помилок:** Спеціально створювати програми з синтаксичними помилками, щоб перевірити, чи правильно аналізатор виявляє та повідомляє про ці помилки (правильний тип помилки, номер рядка).
3. **Використання генераторів парсерів:** Існують інструменти (наприклад, ANTLR, Yacc/Bison), які можуть генерувати код парсера на основі заданого EBNF. Це дозволяє автоматично створювати парсер та порівнювати його роботу з вашим ручним парсером.

4. **Відлагоджувач (debugger):** Використання відлагоджувача для покрокового виконання коду парсера та перевірки стану змінних та стеку викликів. Це допомагає зрозуміти, як працює рекурсивний спуск та де виникають помилки.
5. **Логування:** Додавання виведення інформації про хід аналізу (наприклад, які функції викликаються, які лексеми обробляються). Це допомагає відстежувати процес розбору та знаходити помилки.

Перевірка балансу дужок та послідовності лексем:

- **Баланс дужок:** Реалізується за допомогою лічильника. Коли зустрічається відкриваюча дужка, лічильник збільшується. Коли зустрічається закриваюча дужка, лічильник зменшується. В кінці виразу лічильник повинен дорівнювати нулю. Якщо лічильник стає від'ємним або не дорівнює нулю в кінці, генерується помилка.
- **Послідовність лексем:** Перевіряється безпосередньо в коді функцій. Наприклад, після ідентифікатора в операторі присвоєння обов'язково повинен йти оператор "`<==`". Якщо йде щось інше, генерується помилка.

Програма семантичного аналізатора складатиметься з наступних основних частин:

1. **Лексичний аналізатор (сканер):** Хоча це окремий етап, він необхідний для отримання потоку лексем, які потім оброблятимуться синтаксичним та семантичним аналізаторами.
2. **Синтаксичний аналізатор (парсер):** Побудова AST на основі лексем та граматики (EBNF).
3. **Таблиця символів:** Структура даних для зберігання інформації про ідентифікатори.
4. **Семантичний аналізатор:** Основна частина, що виконує семантичні перевірки, використовуючи AST та таблицю символів.
5. **Обробка помилок:** Функції для виведення повідомлень про семантичні помилки.

Основні функції та алгоритми:

1. **analyzeProgram(ProgramNode* program):**
 - Основна функція семантичного аналізу.
 - Приймає на вхід корінь AST (ProgramNode).
 - Викликає функції для аналізу оголошень змінних та операторів.
2. **analyzeVarDecl(VarDeclNode* varDecl):**
 - Аналізує оголошення змінних.
 - Перевіряє, чи немає повторних оголошень змінних з однаковими іменами в одній області видимості.
 - Для діапазонів (наприклад, A-Z) створює записи в таблиці символів для кожної змінної в діапазоні.

- Додає інформацію про змінні (ім'я та тип) до таблиці символів.
- 3. **analyzeStatement(ASTNode* statement):**
 - Визначає тип оператора та викликає відповідну функцію для його аналізу.
 - Обробляє різні типи операторів: ASSIGN, GET, PUT, IF-ELSE, GOTO, FOR-TO, WHILE, REPEAT-UNTIL.
- 4. **analyzeAssign(AssignNode* assign):**
 - Аналізує оператор присвоєння.
 - Перевіряє, чи оголошена змінна зліва від оператора присвоєння.
 - Викликає функцію analyzeExpression() для аналізу виразу справа від оператора присвоєння.
 - Перевіряє сумісність типів змінної та виразу.
- 5. **analyzeGet(GetNode* get) та analyzePut(PutNode* put):**
 - Аналізують оператори введення та виведення.
 - Перевіряють, чи існує змінна, з якою виконується операція.
- 6. **analyzeIf(IfNode* ifNode):**
 - Аналізує умовний оператор.
 - Викликає analyzeCondition() для перевірки умови.
 - Рекурсивно викликає analyzeStatement() для аналізу блоків then та else.
- 7. **analyzeGoto(GotoNode* gotoNode):**
 - Аналізує оператор переходу.
 - Перевіряє, чи існує мітка, на яку здійснюється перехід. (Ця перевірка може бути відкладена на пізніший етап, наприклад, після повного аналізу програми).
- 8. **analyzeForTo(ForToNode* forTo):**
 - Аналізує цикл FOR-TO.
 - Перевіряє, чи є лічильник циклу цілим числом.
- 9. **analyzeWhile(WhileNode* whileNode) та analyzeRepeatUntil(RepeatUntilNode* repeatUntil):**
 - Аналізують цикли WHILE та REPEAT-UNTIL.
 - Викликають analyzeCondition() для перевірки умови.
 - Рекурсивно викликають analyzeStatement() для аналізу тіла циклу.
- 10. **analyzeCondition(ConditionNode* condition):**
 - Аналізує умову.
 - Перевіряє типи операндів в операціях порівняння.
- 11. **analyzeExpression(ASTNode* expression):**
 - Аналізує вирази.
 - Виконує перевірку типів для операцій, що використовуються у виразі.
 - Повертає тип виразу.
- 12. **reportError(const std::string& message):**
 - Функція для виведення повідомлень про помилки.
 - Може включати додаткову інформацію, таку як номер рядка та позицію в коді.

3.4.2. Розробка граф-схеми алгоритму

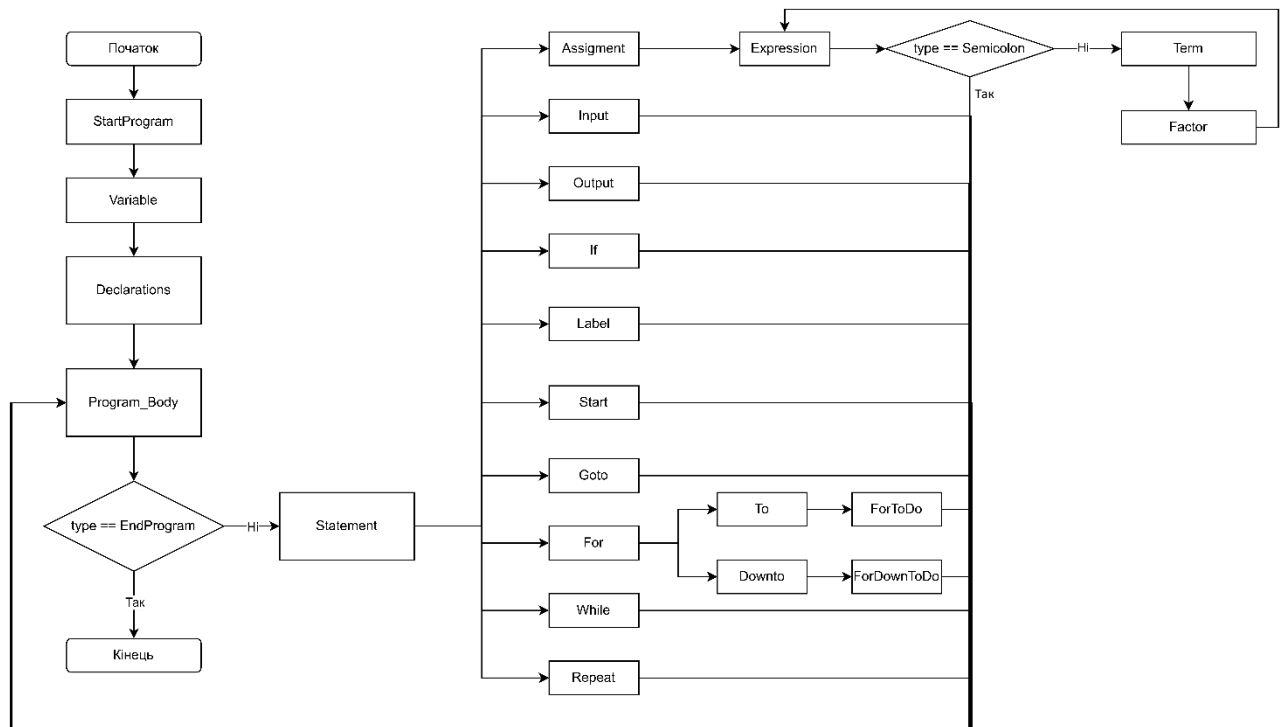


Рис. 3.2 Граф-схема роботи синтаксичного аналізатора

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, операції, 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 операції.

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 С 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 С код відповідно операторам які були в програмі, другий файл містить таблицю змінних.

3.5.1. Розробка граф-схеми алгоритму

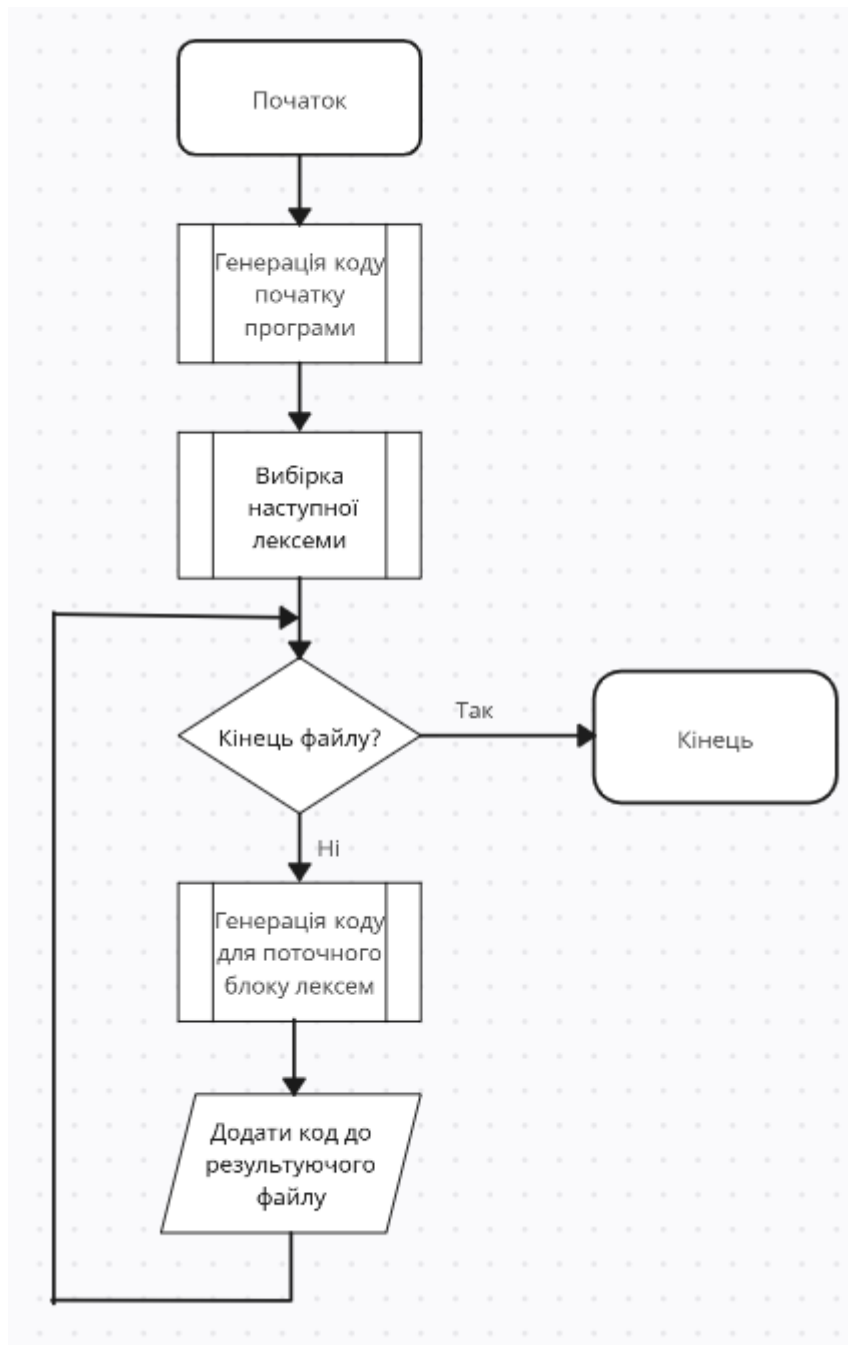


Рис. 3.3 Блок схема генератора коду

3.5.2. Опис програми реалізації генератора коду

У компілятора, реалізованого в даному курсовому проєкті, вихідна мова - програма на мові C. Ця програма записується у файл, що має таку ж саму назву, як і файл з вхідним текстом, але розширення “.c”. 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 заголовки, необхідні для програми на C, та визначається основна функція `main()`. Далі виконується аналіз коду та визначаються змінні, які використовуються.

Проаналізувавши змінні, які є у програмі, генератор формує секцію оголошення змінних для програми на C. Для цього з таблиці лексем вибирається ім'я змінної (типи змінних відповідають типам у C, наприклад `int`), та записується її початкове значення, якщо воно задано.

Аналіз наявних операторів необхідний у зв'язку з тим, що введення/виведення, виконання арифметичних та логічних операцій виконуються як окремі конструкції, 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 функції `printf`, яка формує вихідний текст. Якщо це арифметична операція, то у вихідний файл записується вираз, що відповідає правилам C, із врахуванням пріоритетів операцій.

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

В кінці своєї роботи генератор формує завершення програми на C, додаючи повернення значення 0 з основної функції.

Детальний опис програми реалізації коду:

1. Ініціалізація та запис заголовків:

- Генератор коду отримує на вхід результат синтаксичного аналізу (наприклад, AST або таблицю лексем).
- Створюється вихідний файл з розширенням ".c" та тією ж назвою, що й вхідний файл.
- У вихідний файл записуються необхідні заголовки для C, такі як `#include <stdio.h>` (для функцій вводу/виводу).
- Визначається основна функція `main()`. У вихідний файл записується початок функції: `int main() {`.

2. Аналіз та оголошення змінних:

- Генератор аналізує таблицю лексем або AST для визначення оголошених змінних.
- Для кожної змінної генерується оголошення на C.
- Типи змінних вхідної мови відображаються на відповідні типи C (наприклад, якщо у вхідній мові є тип `integer`, то в C він буде `int`).
- Якщо змінній задано початкове значення, воно також записується в оголошення (наприклад, `int x = 10;`).

Приклад: Якщо в таблиці лексем є запис про змінну `myVariable` типу `integer` з початковим значенням 5, то в C буде згенеровано рядок: `int myVariable = 5;`

3. Аналіз наявності операторів:

- Генератор перевіряє, чи є в програмі оператори вводу/виводу, арифметичні або логічні операції.
- Цей крок дозволяє оптимізувати вихідний код, запобігаючи включенню непотрібних частин коду (хоча з сучасними оптимізаторами компіляторів C це не є критичним).

4. Послідовна обробка лексем та генерація коду:

- Генератор послідовно зчитує лексеми з таблиці лексем (або обходить AST).
- Для кожної лексеми виконується відповідна дія:
 - **Оператор виведення (наприклад, PUT):** Генерується виклик функції `printf()`. Форматний рядок `printf()` формується на основі типу змінної, що виводиться (наприклад, `%d` для `int`, `%f` для `float`).

Приклад: Якщо в таблиці лексем є лексема `PUT` та ідентифікатор `result`, то в C буде згенеровано щось на зразок: `printf("%d\n", result);`.

- **Оператор введення (наприклад, GET):** Генерується виклик функції `scanf()`.

Приклад: `scanf("%d", &inputVariable);`.

- **Оператор присвоєння (наприклад, := або <==):** Генерується оператор присвоєння в С (=).

Приклад: $x = y + 5;$.

- **Арифметичні операції (+, -, *, DIV, MOD):** Генеруються відповідні арифметичні операції в С (+, -, *, /, %). Важливо враховувати пріоритет операцій. Якщо у вхідній мові є операція DIV, її можна відобразити на / в С (для цілочисельного ділення), а MOD на %.

Приклад: Вираз $a + b * c$ буде згенеровано як $a + (b * c);$ (для забезпечення правильного пріоритету).

- **Логічні операції (AND, OR):** Генеруються відповідні логічні операції в С (&&, ||).

Приклад: Умова $x \text{ AND } y$ буде згенерована як $x \&\& y$.

- **Умовні оператори (IF-ELSE):** Генеруються конструкції if та else в С.

Приклад:

```
if (condition) {  
    // Код для блоку then  
} else {  
    // Код для блоку else  
}
```

- **Цикли (FOR-TO, FOR-DOWNTO, WHILE, REPEAT-UNTIL):** Генеруються відповідні цикли в С (for, while, do-while).

Приклад FOR-TO:

```
for (i = start; i <= end; i++) {  
    // Код циклу  
}
```

Приклад WHILE:

```
while (condition) {  
    // Код циклу  
}
```

Приклад REPEAT-UNTIL:

```
do {  
    // Код циклу  
} while (!(condition));
```

- **Мітки та GOTO:** Генеруються мітки та оператори goto в C. (Використання goto в C зазвичай не рекомендується, але в контексті прямої трансляції з іншої мови це може бути прийнятним).

5. Завершення генерації коду:

- Після обробки всіх лексем у вихідний файл записується закриваюча дужка функції main(): }.
- Додається повернення значення 0: return 0;. Це стандартний спосіб завершення програми в C.

Деталізація:

- **Обробка помилок:** Важливо передбачити обробку помилок генерації коду, наприклад, якщо зустрічається невідома лексема.
- **Оптимізація:** Хоча в описі згадано мінімальну оптимізацію (уникнення непотрібних включень), можна реалізувати й інші оптимізації, наприклад, згортання констант.
- **Форматування коду:** Для покращення читабельності згенерованого коду можна використовувати форматування, наприклад, відступи.

4. Опис програми

Дана програма написана мовою C++ з використанням визначень нових типів та перелічень:

```
enum TypeOfTokens
{
    Mainprogram,
    StartProgram,
    Variable,
    Type,
    EndProgram,
    Input,
    Output,

    If,
    Else,

    Goto,
    Label,

    For,
    To,
    DownTo,
    Do,

    While,
    Exit,
    Continue,
    End,

    Repeat,
    Until,

    Identifier,
    Number,
    Assign,
    Add,
    Sub,
    Mul,
    Div,
    Mod,
    Equality,
    NotEquality,
    Greate,
    Less,
    Not,
    And,
    Or,
    LBraket,
    RBraket,
```

```

        Semicolon,
        Colon,
        Comma,
        Unknown
    };

    // структура для зберігання інформації про лексему
    struct Token
    {
        char name[16];        // ім'я лексеми
        int value;             // значення лексеми
        int line;             // номер рядка
        TokenType type;       // тип лексеми
    };

    // структура для зберігання інформації про ідентифікатор
    struct Id
    {
        char name[16];
    };

    // перерахування, яке описує стани лексичного аналізатора
    enum States
    {
        Start,               // початок виділення чергової лексеми
        Finish,              // кінець виділення чергової лексеми
        Letter,              // опрацювання слів (ключові слова і ідентифікатори)
        Digit,               // опрацювання цифри
        Separators,          // видалення пробілів, символів табуляції і переходу на
        новий рядок
        Another,             // опрацювання інших символів
        EndOfFile,           // кінець файлу
        SComment,            // початок коментаря
        Comment              // видалення коментаря
    };
};

```

Спочатку вхідна програма за допомогою функції `unsigned int GetTokens(FILE* F, Token TokenTable[])` розбивається на відповідні токени для запису у таблицю та подальше їх використання в процесі синтаксичного аналізу та генерації коду.

Далі відбувається синтаксичний аналіз вхідної програми за допомогою функції `void Parser()`. Всі правила запису як різноманітних операцій так і програми в цілому відбувається за нотатками Бекуса-Наура, за допомогою яких можна легко описати синтаксис всіх операцій.

Нище наведено опис структури програми за допомогою нотаток Бекуса-Наура.

```
void program()
```

```

{
    match(Mainprogram);
    match(StartProgram);
    match(Variable);
    variable_declaration();
    match(Semicolon);
    program_body();
    match(EndProgram);
}

```

Наступним етапом є генерація С коду. Алгоритм генерації працює за принципом синтаксичного аналізу але при вибірці певної лексеми або операції генерує відповідний С код який записується у вихідний файл.

Нище наведено генерацію С коду на прикладі операції присвоєння.

```

void assignment(FILE* outFile)
{
    fprintf(outFile, "    ");
    fprintf(outFile, TokenTable[pos++].name);
    fprintf(outFile, " = ");
    pos++;
    arithmetic_expression(outFile);
    pos++;
    fprintf(outFile, ";\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.

4.1. Опис інтерфейсу та інструкція користувачеві

Вхідним файлом для даної програми є звичайний текстовий файл з розширенням h04. 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_h04.exe <ім'я програми>.h04"

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>.c.

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 перевірки 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
#PROGRAM prog1;
START
VARIABLE INTEGER32 AAAAAA
AAAAAAA,BBBBBBBBBBBB,XXXXXXXXXXXXX,YYYYYYYYYYYYY;
GET AAAAAAAAAAAAAA;
GET BBBBBBBBBBBBBB
PUT AAAAAAAAAAAAAA + BBBBBBBBBBBBBB;
PUT AAAAAAAAAAAAAA - BBBBBBBBBBBBBB;
PUT AAAAAAAAAAAAAA * BBBBBBBBBBBBBB;
PUT AAAAAAAAAAAAAA DIV BBBBBBBBBBBBBB;
PUT AAAAAAAAAAAAAA MOD BBBBBBBBBBBBBB;

XXXXXXXXXXXXX<==(AAAAAAAAAAAAA - BBBBBBBBBBBBBB) * 10 +
(AAAAAAAAAAAAAA + BBBBBBBBBBBBBB) DIV 10;
YYYYYYYYYYYYY<==XXXXXXXXXXXXX + (XXXXXXXXXXXXX MOD 10);
```

```
PUT XXXXXXXXXXXXX;  
PUT YYYYYYYYYYYYYY;  
STOP
```

Текст файлу з повідомленнями про помилки

Lexical Error: line 4, lexem AAAAAA is Unknown
Lexical Error: line 4, lexem AAAAAAA is Unknown

Syntax error in line 4 : another type of lexeme was expected.

Syntax error: type Unknown
Expected Type: Identifier

5.2. Виявлення семантичних помилок

Суттю виявлення семантичних помилок є перевірка числових констант на відповідність типу INTEGER32, тобто знаковому цілому числу з відповідним діапазоном значень і перевірку на коректність використання змінних INTEGER32 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.

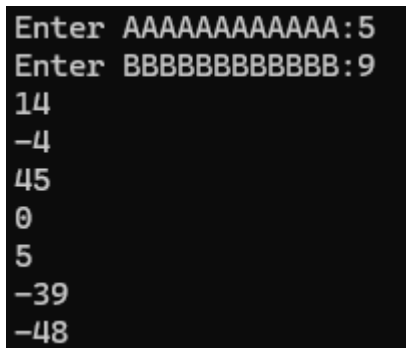
Текст коректної програми

```
//Prog1  
#PROGRAM prog1;  
START  
VARIABLE INTEGER32  
AAAAAAAAAAAAA,BBBBBBBBBBBB,XXXXXXXXXXXXX,YYYYYYYYYYYYY;  
GET AAAAAAAAAAAAA;  
GET BBBBBBBBBBBBB;  
PUT AAAAAAAAAAAAA + BBBBBBBBBBBBB;  
PUT AAAAAAAAAAAAA - BBBBBBBBBBBBB;  
PUT AAAAAAAAAAAAA * BBBBBBBBBBBBB;  
PUT AAAAAAAAAAAAA DIV BBBBBBBBBBBBB;  
PUT AAAAAAAAAAAAA MOD BBBBBBBBBBBBB;  
  
XXXXXXXXXXXXX<==(AAAAAAAAAAAAA - BBBBBBBBBBBBB) * 10 +  
(AAAAAAAAAAAAA + BBBBBBBBBBBBB) DIV 10;  
YYYYYYYYYYYYY<==XXXXXXXXXXXXX + (XXXXXXXXXXXXX MOD 10);  
PUT XXXXXXXXXXXXX;  
PUT YYYYYYYYYYYYYY;  
STOP
```

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

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

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



```
Enter AAAAAAAAAAAAA:5
EnterBBBBBBBBBBBBB:9
14
-4
45
0
5
-39
-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.

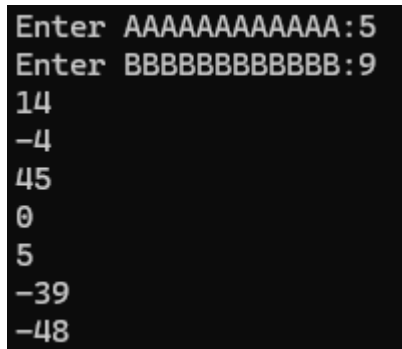
5.4. Тестова програма №1

Текст програми

```
//Prog1
#PROGRAM prog1;
START
VARIABLE INTEGER32
AAAAAAAAAAAAA,BBBBBBBBBBBB,XXXXXXXXXXXXX,YYYYYYYYYYYYY;
GET AAAAAAAAAAAAAA;
GET BBBBBBBBBBBBBB;
PUT AAAAAAAAAAAAAA + BBBBBBBBBBBBBB;
PUT AAAAAAAAAAAAAA - BBBBBBBBBBBBBB;
PUT AAAAAAAAAAAAAA * BBBBBBBBBBBBBB;
PUT AAAAAAAAAAAAAA DIV BBBBBBBBBBBBBB;
PUT AAAAAAAAAAAAAA MOD BBBBBBBBBBBBBB;

XXXXXXXXXXXXX<==(AAAAAAAAAAAAA - BBBBBBBBBBBBBB) * 10 +
(AAAAAAAAAAAAAA + BBBBBBBBBBBBBB) DIV 10;
YYYYYYYYYYYYY<==XXXXXXXXXXXXX + (XXXXXXXXXXXXX MOD 10);
PUT XXXXXXXXXXXXXXX;
PUT YYYYYYYYYYYYYY;
STOP
```

Результат виконання



```
Enter AAAAAAAAAAAAAA:5
Enter BBBBBBBBBBBBBB:9
14
-4
45
0
5
-39
-48
```

Рис. 5.2 Результат виконання тестової програми №1

5.5. Тестова програма №2

Текст програми

```
//Prog2
#PROGRAM prog2;
START
VARIABLE INTEGER32 AAAAAAAAAAAAAA,BBBBBBBBBBBBBB,CCCCCCCCCCCC;
GET AAAAAAAAAAAAAA;
GET BBBBBBBBBBBBBB;
GET CCCCCCCCCCCC;
IF(AAAAAAAAAAAAAA >= BBBBBBBBBBBBBB)
START
    IF(AAAAAAAAAAAAAA >= CCCCCCCCCCCC)
    START
        GOTO Abigger;
    STOP
    ELSE
    START
        PUT CCCCCCCCCCCC;
        GOTO OutofIF;
        Abigger:
        PUT AAAAAAAAAAAAAA;
        GOTO OutofIF;
    STOP
STOP
IF(BBBBBBBBBBBBBB <= CCCCCCCCCCCC)
START
    PUT CCCCCCCCCCCC;
STOP
ELSE
START
    PUT BBBBBBBBBBBBBB;
STOP
OutofIF:

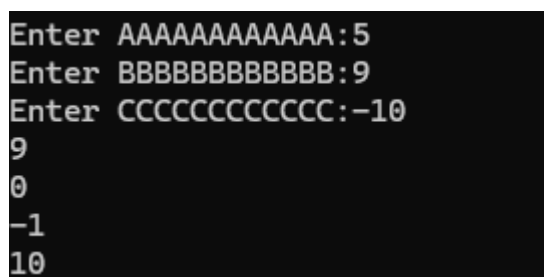
IF((AAAAAAAAAAAAA = BBBBBBBBBBBBBB) AND (AAAAAAAAAAAAA =
CCCCCCCCCCCC) AND (BBBBBBBBBBBBBB = CCCCCCCCCCCC))
START
    PUT 1;
STOP
ELSE
START
    PUT 0;
STOP
IF((AAAAAAAAAAAAA <= 0) OR (BBBBBBBBBBBBBB <= 0) OR (CCCCCCCCCCCC <= 0))
START
    PUT -1;
```

```

STOP
ELSE
START
    PUT 0;
STOP
IF(!(AAAAAAAAAAAAA <= (BBBBBBBBBBBBB + CCCCCCCCCCCC)))
START
    PUT(10);
STOP
ELSE
START
    PUT(0);
STOP
STOP

```

Результат виконання



```

Enter AAAAAAAAAAAAA: 5
Enter BBBBBBBBBBBBB: 9
Enter CCCCCCCCCCCC: -10
9
0
-1
10

```

Рис. 5.3 Результат виконання тестової програми №2

5.6. Тестова програма №3

Текст програми

```

//Prog3
#PROGRAM prog3;
START
VARIABLE INTEGER32
AAAAAAAAAAAAA,AAAAAAAAAAAAA2,BBBBBBBBBBBBBB,XXXXXXXXXXXXX,CCCCCCCC
CCC1,CCCCCCCCCCCC2;
GET AAAAAAAAAAAAA;
GET BBBBBBBBBBBBB;
FOR AAAAAAAAAAAAA2<==AAAAAAAAAAAAA TO BBBBBBBBBBBBB DO
    PUT AAAAAAAAAAAAA2 * AAAAAAAAAAAAA2;

FOR AAAAAAAAAAAAA2<==BBBBBBBBBBBBB TO AAAAAAAAAAAAA DO
    PUT AAAAAAAAAAAAA2 * AAAAAAAAAAAAA2;

XXXXXXXXXXXXX<==0;
CCCCCCCCCCCC1<==0;
WHILE CCCCCCCCCCCC1 <= AAAAAAAAAAAAA
START
    CCCCCCCCCCCC2<==0;
    WHILE CCCCCCCCCCCC2 <= BBBBBBBBBBBBB

```

```

START
    XXXXXXXXXXXXX<==XXXXXXXXXXXXXXXX + 1;
    CCCCCCCCCCCC2<==CCCCCCCCCCCC2 + 1;
STOP
END WHILE
CCCCCCCCCCCC1<==CCCCCCCCCCCC1 + 1;
STOP
END WHILE
PUT XXXXXXXXXXXXX;

XXXXXXXXXXXX<==0;
CCCCCCCCCCCC1<==1;
REPEAT
START
    CCCCCCCCCCCC2<==1;
    REPEAT
    START
        XXXXXXXXXXXXX<==XXXXXXXXXXXXXXXX + 1;
        CCCCCCCCCCCC2<==CCCCCCCCCCCC2 + 1;
        STOP
    UNTIL !(CCCCCCCCCCCC2 >= BBBBBBBBBBBBBB)
    CCCCCCCCCCCC1<==CCCCCCCCCCCC1 + 1;
    STOP
    UNTIL !(CCCCCCCCCCCC1 >= AAAAAAAAAAAAAA)
    PUT XXXXXXXXXXXXX;

STOP

```

Результат виконання

```

Enter AAAAAAAAAAAAA:5
Enter BBBBBBBBBBBBB:9
25
36
49
64
81
45
45

```

Рис. 5.4 Результат виконання тестової програми №3

Висновки

В процесі виконання курсового проекту було виконано наступне:

1. Складено формальний опис мови програмування h04, в термінах розширеної нотації Бекуса-Наура, виділено усі термінальні символи та ключові слова.

2. Створено компілятор мови програмування h04, 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 h04. Вихідним кодом генератора є програма на мові C.

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 h04 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. C Programming Language Tutorial - GeeksforGeeks
URL: [C Programming Language Tutorial - 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 (Таблиці лексем для тестових прикладів)

Тестова програма “Лінійний алгоритм”

TOKEN TABLE					
line number	token	value	token code	type of token	
2	#	0	0	Unknown	
2	PROGRAM	0	1	MainProgram	
2	prog1	0	2	Unknown	
3	START	0	3	StartProgram	
4	VARIABLE	0	4	Variable	
4	INTEGER32	0	5	Integer	
4	AAAAAAAAAAAA	0	24	Identifier	
4	,	0	43	Comma	
4	BBBBBBBBBBBB	0	24	Identifier	
4	,	0	43	Comma	
4	XXXXXXXXXXXX	0	24	Identifier	
4	,	0	43	Comma	
4	YYYYYYYYYYYY	0	24	Identifier	
4	;	0	41	Semicolon	
5	GET	0	7	Input	
5	AAAAAAAAAAAA	0	24	Identifier	
5	;	0	41	Semicolon	
6	GET	0	7	Input	
6	BBBBBBBBBBBB	0	24	Identifier	
6	;	0	41	Semicolon	
7	PUT	0	8	Output	
7	AAAAAAAAAAAA	0	24	Identifier	
7	+	0	27	Add	
7	BBBBBBBBBBBB	0	24	Identifier	
7	;	0	41	Semicolon	
8	PUT	0	8	Output	

|	8	|	AAAAAAAAAAAAA	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	8	|	-	|	0	|	28	|	Sub	|
|	8	|	BBBBBBBBBBBBB	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	8	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	9	|	PUT	|	0	|	8	|	Output	|
|	9	|	AAAAAAAAAAAAA	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	9	|	*	|	0	|	29	|	Mul	|
|	9	|	BBBBBBBBBBBBB	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	9	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	10	|	PUT	|	0	|	8	|	Output	|
|	10	|	AAAAAAAAAAAAA	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	10	|	DIV	|	0	|	30	|	Div	|
|	10	|	BBBBBBBBBBBBB	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	10	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	11	|	PUT	|	0	|	8	|	Output	|
|	11	|	AAAAAAAAAAAAA	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	11	|	MOD	|	0	|	31	|	Mod	|
|	11	|	BBBBBBBBBBBBB	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	11	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	13	|	XXXXXXXXXXXXX	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	13	|	<==	|	0	|	26	|	Assign	|
|	13	|	(	|	0	|	39	|	LBracket	|
|	13	|	AAAAAAAAAAAAA	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	13	|	-	|	0	|	28	|	Sub	|
|	13	|	BBBBBBBBBBBBB	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	13	|	)	|	0	|	40	|	RBracket	|
|	13	|	*	|	0	|	29	|	Mul	|
|	13	|	10	|	10	|	25	|	Number	|
|	13	|	+	|	0	|	27	|	Add	|
|	13	|	(	|	0	|	39	|	LBracket	|

|	13	|	AAAAAAAAAAAAA	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	13	|	+	|	0	|	27	|	Add	|
|	13	|	BBBBBBBBBBBBB	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	13	|	)	|	0	|	40	|	RBracket	|
|	13	|	DIV	|	0	|	30	|	Div	|
|	13	|	10	|	10	|	25	|	Number	|
|	13	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	14	|	YYYYYYYYYYYYY	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	14	|	<==	|	0	|	26	|	Assign	|
|	14	|	XXXXXXXXXXXXX	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	14	|	+	|	0	|	27	|	Add	|
|	14	|	(	|	0	|	39	|	LBracket	|
|	14	|	XXXXXXXXXXXXX	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	14	|	MOD	|	0	|	31	|	Mod	|
|	14	|	10	|	10	|	25	|	Number	|
|	14	|	)	|	0	|	40	|	RBracket	|
|	14	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	15	|	PUT	|	0	|	8	|	Output	|
|	15	|	XXXXXXXXXXXXX	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	15	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	16	|	PUT	|	0	|	8	|	Output	|
|	16	|	YYYYYYYYYYYYY	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	16	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	17	|	STOP	|	0	|	6	|	EndProgram	|

Тестова програма “Алгоритм з розгалуженням”

|						TOKEN TABLE						|									
|		line number		|		token		|		value		|		token code		|		type of token		|	
|		2		|		#		|		0		|		0		|		Unknown		|	
|		2		|		PROGRAM		|		0		|		1		|		MainProgram		|	

|	2	|	prog2	|	0	|	2	|	Unknown	|
|	3	|	START	|	0	|	3	|	StartProgram	|
|	4	|	VARIABLE	|	0	|	4	|	Variable	|
|	4	|	INTEGER32	|	0	|	5	|	Integer	|
|	4	|	AAAAAAAAAAAAA	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	4	|	,	|	0	|	43	|	Comma	|
|	4	|	BBBBBBBBBBBBB	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	4	|	,	|	0	|	43	|	Comma	|
|	4	|	CCCCCCCCCCCCC	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	4	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	5	|	GET	|	0	|	7	|	Input	|
|	5	|	AAAAAAAAAAAAA	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	5	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	6	|	GET	|	0	|	7	|	Input	|
|	6	|	BBBBBBBBBBBBB	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	6	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	7	|	GET	|	0	|	7	|	Input	|
|	7	|	CCCCCCCCCCCCC	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	7	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	8	|	IF	|	0	|	9	|	If	|
|	8	|	(	|	0	|	39	|	LBraket	|
|	8	|	AAAAAAAAAAAAA	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	8	|	>=	|	0	|	34	|	Greate	|
|	8	|	BBBBBBBBBBBBB	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	8	|	)	|	0	|	40	|	RBraket	|
|	9	|	START	|	0	|	3	|	StartProgram	|
|	10	|	IF	|	0	|	9	|	If	|
|	10	|	(	|	0	|	39	|	LBraket	|
|	10	|	AAAAAAAAAAAAA	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	10	|	>=	|	0	|	34	|	Greate	|
|	10	|	CCCCCCCCCCCCC	|	0	|	24	|	Identifier	|

|	10	|	)	|	0	|	40	|	RBracket	|
|	11	|	START	|	0	|	3	|	StartProgram	|
|	12	|	GOTO	|	0	|	12	|	Goto	|
|	12	|	Abigger	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	12	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	13	|	STOP	|	0	|	6	|	EndProgram	|
|	14	|	ELSE	|	0	|	11	|	Else	|
|	15	|	START	|	0	|	3	|	StartProgram	|
|	16	|	PUT	|	0	|	8	|	Output	|
|	16	|	CCCCCCCCCCCC	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	16	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	17	|	GOTO	|	0	|	12	|	Goto	|
|	17	|	OutofIF	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	17	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	18	|	Abigger	|	0	|	13	|	Label	|
|	19	|	PUT	|	0	|	8	|	Output	|
|	19	|	AAAAAAAAAAAA	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	19	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	20	|	GOTO	|	0	|	12	|	Goto	|
|	20	|	OutofIF	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	20	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	21	|	STOP	|	0	|	6	|	EndProgram	|
|	22	|	STOP	|	0	|	6	|	EndProgram	|
|	23	|	IF	|	0	|	9	|	If	|
|	23	|	(	|	0	|	39	|	LBracket	|
|	23	|	BBBBBBBBBBBB	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	23	|	<=	|	0	|	35	|	Less	|
|	23	|	CCCCCCCCCCCC	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	23	|	)	|	0	|	40	|	RBracket	|
|	24	|	START	|	0	|	3	|	StartProgram	|

|	25	|	PUT	|	0	|	8	|	Output	|
|	25	|	CCCCCCCCCCCC	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	25	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	26	|	STOP	|	0	|	6	|	EndProgram	|
|	27	|	ELSE	|	0	|	11	|	Else	|
|	28	|	START	|	0	|	3	|	StartProgram	|
|	29	|	PUT	|	0	|	8	|	Output	|
|	29	|	BBBBBBBBBBBB	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	29	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	30	|	STOP	|	0	|	6	|	EndProgram	|
|	31	|	OutofIF	|	0	|	13	|	Label	|
|	33	|	IF	|	0	|	9	|	If	|
|	33	|	(	|	0	|	39	|	LBracket	|
|	33	|	(	|	0	|	39	|	LBracket	|
|	33	|	AAAAAAAAAAAA	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	33	|	=	|	0	|	32	|	Equality	|
|	33	|	BBBBBBBBBBBB	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	33	|	)	|	0	|	40	|	RBracket	|
|	33	|	AND	|	0	|	37	|	And	|
|	33	|	(	|	0	|	39	|	LBracket	|
|	33	|	AAAAAAAAAAAA	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	33	|	=	|	0	|	32	|	Equality	|
|	33	|	CCCCCCCCCCCC	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	33	|	)	|	0	|	40	|	RBracket	|
|	33	|	AND	|	0	|	37	|	And	|
|	33	|	(	|	0	|	39	|	LBracket	|
|	33	|	BBBBBBBBBBBB	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	33	|	=	|	0	|	32	|	Equality	|
|	33	|	CCCCCCCCCCCC	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	33	|	)	|	0	|	40	|	RBracket	|
|	33	|	)	|	0	|	40	|	RBracket	|

|	34	|	START	|	0	|	3	|	StartProgram	|
|	35	|	PUT	|	0	|	8	|	Output	|
|	35	|	1	|	1	|	25	|	Number	|
|	35	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	36	|	STOP	|	0	|	6	|	EndProgram	|
|	37	|	ELSE	|	0	|	11	|	Else	|
|	38	|	START	|	0	|	3	|	StartProgram	|
|	39	|	PUT	|	0	|	8	|	Output	|
|	39	|	0	|	0	|	25	|	Number	|
|	39	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	40	|	STOP	|	0	|	6	|	EndProgram	|
|	41	|	IF	|	0	|	9	|	If	|
|	41	|	(	|	0	|	39	|	LBracket	|
|	41	|	(	|	0	|	39	|	LBracket	|
|	41	|	AAAAAAAAAAAAA	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	41	|	<=	|	0	|	35	|	Less	|
|	41	|	0	|	0	|	25	|	Number	|
|	41	|	)	|	0	|	40	|	RBracket	|
|	41	|	OR	|	0	|	38	|	Or	|
|	41	|	(	|	0	|	39	|	LBracket	|
|	41	|	BBBBBBBBBBBBBB	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	41	|	<=	|	0	|	35	|	Less	|
|	41	|	0	|	0	|	25	|	Number	|
|	41	|	)	|	0	|	40	|	RBracket	|
|	41	|	OR	|	0	|	38	|	Or	|
|	41	|	(	|	0	|	39	|	LBracket	|
|	41	|	CCCCCCCCCCCCC	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	41	|	<=	|	0	|	35	|	Less	|
|	41	|	0	|	0	|	25	|	Number	|
|	41	|	)	|	0	|	40	|	RBracket	|

|	41	|	)	|	0	|	40	|	RBracket	|
|	42	|	START	|	0	|	3	|	StartProgram	|
|	43	|	PUT	|	0	|	8	|	Output	|
|	43	|	-	|	0	|	28	|	Sub	|
|	43	|	1	|	1	|	25	|	Number	|
|	43	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	44	|	STOP	|	0	|	6	|	EndProgram	|
|	45	|	ELSE	|	0	|	11	|	Else	|
|	46	|	START	|	0	|	3	|	StartProgram	|
|	47	|	PUT	|	0	|	8	|	Output	|
|	47	|	0	|	0	|	25	|	Number	|
|	47	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	48	|	STOP	|	0	|	6	|	EndProgram	|
|	49	|	IF	|	0	|	9	|	If	|
|	49	|	(	|	0	|	39	|	LBracket	|
|	49	|	!	|	0	|	36	|	Not	|
|	49	|	(	|	0	|	39	|	LBracket	|
|	49	|	AAAAAAAAAAAA	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	49	|	<=	|	0	|	35	|	Less	|
|	49	|	(	|	0	|	39	|	LBracket	|
|	49	|	BBBBBBBBBBBB	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	49	|	+	|	0	|	27	|	Add	|
|	49	|	CCCCCCCCCCCC	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	49	|	)	|	0	|	40	|	RBracket	|
|	49	|	)	|	0	|	40	|	RBracket	|
|	49	|	)	|	0	|	40	|	RBracket	|
|	50	|	START	|	0	|	3	|	StartProgram	|
|	51	|	PUT	|	0	|	8	|	Output	|
|	51	|	(	|	0	|	39	|	LBracket	|
|	51	|	10	|	10	|	25	|	Number	|
|	51	|	)	|	0	|	40	|	RBracket	|

51	;	0	41	Semicolon
52	STOP	0	6	EndProgram
53	ELSE	0	11	Else
54	START	0	3	StartProgram
55	PUT	0	8	Output
55	(	0	39	LBracket
55	0	0	25	Number
55	)	0	40	RBracket
55	;	0	41	Semicolon
56	STOP	0	6	EndProgram
57	STOP	0	6	EndProgram

Тестова програма “Циклічний алгоритм”

TOKEN TABLE				
line number	token	value	token code	type of token
2	#	0	0	Unknown
2	PROGRAM	0	1	MainProgram
2	prog3	0	2	Unknown
3	START	0	3	StartProgram
4	VARIABLE	0	4	Variable
4	INTEGER32	0	5	Integer
4	AAAAAAAAAAAA	0	24	Identifier
4	,	0	43	Comma
4	AAAAAAAAAAAA2	0	24	Identifier
4	,	0	43	Comma
4	BBBBBBBBBBBBBB	0	24	Identifier
4	,	0	43	Comma
4	XXXXXXXXXXXXXX	0	24	Identifier
4	,	0	43	Comma
4	CCCCCCCCCCCC1	0	24	Identifier
4	,	0	43	Comma

|	4	|	CCCCCCCCCCC2	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	4	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	5	|	GET	|	0	|	7	|	Input	|
|	5	|	AAAAAAAAAAAAA	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	5	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	6	|	GET	|	0	|	7	|	Input	|
|	6	|	BBBBBBBBBBBBB	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	6	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	7	|	FOR	|	0	|	14	|	For	|
|	7	|	AAAAAAAAAAAAA2	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	7	|	<==	|	0	|	26	|	Assign	|
|	7	|	AAAAAAAAAAAAA	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	7	|	TO	|	0	|	15	|	To	|
|	7	|	BBBBBBBBBBBBB	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	7	|	DO	|	0	|	17	|	Do	|
|	8	|	PUT	|	0	|	8	|	Output	|
|	8	|	AAAAAAAAAAAAA2	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	8	|	*	|	0	|	29	|	Mul	|
|	8	|	AAAAAAAAAAAAA2	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	8	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	10	|	FOR	|	0	|	14	|	For	|
|	10	|	AAAAAAAAAAAAA2	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	10	|	<==	|	0	|	26	|	Assign	|
|	10	|	BBBBBBBBBBBBB	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	10	|	TO	|	0	|	15	|	To	|
|	10	|	AAAAAAAAAAAAA	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	10	|	DO	|	0	|	17	|	Do	|
|	11	|	PUT	|	0	|	8	|	Output	|
|	11	|	AAAAAAAAAAAAA2	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	11	|	*	|	0	|	29	|	Mul	|

|	11	|	AAAAAAAAAAAA2	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	11	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	13	|	XXXXXXXXXXXXX	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	13	|	<==	|	0	|	26	|	Assign	|
|	13	|	0	|	0	|	25	|	Number	|
|	13	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	14	|	CCCCCCCCCCCC1	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	14	|	<==	|	0	|	26	|	Assign	|
|	14	|	0	|	0	|	25	|	Number	|
|	14	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	15	|	WHILE	|	0	|	18	|	While	|
|	15	|	CCCCCCCCCCCC1	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	15	|	<=	|	0	|	35	|	Less	|
|	15	|	AAAAAAAAAAAAA	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	16	|	START	|	0	|	3	|	StartProgram	|
|	17	|	CCCCCCCCCCCC2	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	17	|	<==	|	0	|	26	|	Assign	|
|	17	|	0	|	0	|	25	|	Number	|
|	17	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	18	|	WHILE	|	0	|	18	|	While	|
|	18	|	CCCCCCCCCCCC2	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	18	|	<=	|	0	|	35	|	Less	|
|	18	|	BBBBBBBBBBBBBB	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	19	|	START	|	0	|	3	|	StartProgram	|
|	20	|	XXXXXXXXXXXXX	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	20	|	<==	|	0	|	26	|	Assign	|
|	20	|	XXXXXXXXXXXXX	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	20	|	+	|	0	|	27	|	Add	|
|	20	|	1	|	1	|	25	|	Number	|
|	20	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	21	|	CCCCCCCCCCCC2	|	0	|	24	|	Identifier	|

|	21	|	<==	|	0	|	26	|	Assign	|
|	21	|	CCCCCCCCCCCC2	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	21	|	+	|	0	|	27	|	Add	|
|	21	|	1	|	1	|	25	|	Number	|
|	21	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	22	|	STOP	|	0	|	6	|	EndProgram	|
|	23	|	END	|	0	|	21	|	End	|
|	23	|	WHILE	|	0	|	18	|	While	|
|	24	|	CCCCCCCCCCCC1	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	24	|	<==	|	0	|	26	|	Assign	|
|	24	|	CCCCCCCCCCCC1	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	24	|	+	|	0	|	27	|	Add	|
|	24	|	1	|	1	|	25	|	Number	|
|	24	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	25	|	STOP	|	0	|	6	|	EndProgram	|
|	26	|	END	|	0	|	21	|	End	|
|	26	|	WHILE	|	0	|	18	|	While	|
|	27	|	PUT	|	0	|	8	|	Output	|
|	27	|	XXXXXXXXXXXXX	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	27	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	29	|	XXXXXXXXXXXXX	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	29	|	<==	|	0	|	26	|	Assign	|
|	29	|	0	|	0	|	25	|	Number	|
|	29	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	30	|	CCCCCCCCCCCC1	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	30	|	<==	|	0	|	26	|	Assign	|
|	30	|	1	|	1	|	25	|	Number	|
|	30	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	31	|	REPEAT	|	0	|	22	|	Repeat	|
|	32	|	START	|	0	|	3	|	StartProgram	|

|	33	|	CCCCCCCCCCCC2	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	33	|	<==	|	0	|	26	|	Assign	|
|	33	|	1	|	1	|	25	|	Number	|
|	33	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	34	|	REPEAT	|	0	|	22	|	Repeat	|
|	35	|	START	|	0	|	3	|	StartProgram	|
|	36	|	XXXXXXXXXXXXX	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	36	|	<==	|	0	|	26	|	Assign	|
|	36	|	XXXXXXXXXXXXX	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	36	|	+	|	0	|	27	|	Add	|
|	36	|	1	|	1	|	25	|	Number	|
|	36	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	37	|	CCCCCCCCCCCC2	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	37	|	<==	|	0	|	26	|	Assign	|
|	37	|	CCCCCCCCCCCC2	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	37	|	+	|	0	|	27	|	Add	|
|	37	|	1	|	1	|	25	|	Number	|
|	37	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	38	|	STOP	|	0	|	6	|	EndProgram	|
|	39	|	UNTIL	|	0	|	23	|	Until	|
|	39	|	!	|	0	|	36	|	Not	|
|	39	|	(	|	0	|	39	|	LBracket	|
|	39	|	CCCCCCCCCCCC2	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	39	|	>=	|	0	|	34	|	Greate	|
|	39	|	BBBBBBBBBBBBB	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	39	|	)	|	0	|	40	|	RBracket	|
|	40	|	CCCCCCCCCCCC1	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	40	|	<==	|	0	|	26	|	Assign	|
|	40	|	CCCCCCCCCCCC1	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	40	|	+	|	0	|	27	|	Add	|
|	40	|	1	|	1	|	25	|	Number	|

|	40	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	41	|	STOP	|	0	|	6	|	EndProgram	|
|	42	|	UNTIL	|	0	|	23	|	Until	|
|	42	|	!	|	0	|	36	|	Not	|
|	42	|	(	|	0	|	39	|	LBracket	|
|	42	|	CCCCCCCCCCCC1	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	42	|	>=	|	0	|	34	|	Greate	|
|	42	|	AAAAAAAAAAAAA	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	42	|	)	|	0	|	40	|	RBracket	|
|	43	|	PUT	|	0	|	8	|	Output	|
|	43	|	XXXXXXXXXXXXX	|	0	|	24	|	Identifier	|
|	43	|	;	|	0	|	41	|	Semicolon	|
|	45	|	STOP	|	0	|	6	|	EndProgram	|

--

Додаток Б (Код на мові C)

Prog1.c

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
```

```
int main()
{
    int AAAAAAAAAAAAAA, BBBBBBBBBBBBBB, XXXXXXXXXXXXXXXX, YYYYYYYYYYYYYY;
    printf("Enter AAAAAAAAAAAAAA:");
    scanf("%d", &AAAAAAAAAAAAAA);
    printf("Enter BBBBBBBBBBBBBB:");
    scanf("%d", &BBBBBBBBBBBBBB);
    printf("%d\n", AAAAAAAAAAAAAA + BBBBBBBBBBBBBB);
    printf("%d\n", AAAAAAAAAAAAAA - BBBBBBBBBBBBBB);
    printf("%d\n", AAAAAAAAAAAAAA * BBBBBBBBBBBBBB);
    printf("%d\n", AAAAAAAAAAAAAA / BBBBBBBBBBBBBB);
    printf("%d\n", AAAAAAAAAAAAAA % BBBBBBBBBBBBBB);
    XXXXXXXXXXXXXXXX = (AAAAAAAAAAAAAA - BBBBBBBBBBBBBB) * 10 +
(AAAAAAAAAAAAAA + BBBBBBBBBBBBBB) / 10;
    YYYYYYYYYYYYYY = XXXXXXXXXXXXXXXX + (XXXXXXXXXXXXX % 10);
    printf("%d\n", XXXXXXXXXXXXXXXX);
    printf("%d\n", YYYYYYYYYYYYYY);
    system("pause");
    return 0;
}
```

Prog2.c

```
#include <stdio.h>
```

```

#include <stdlib.h>

int main()
{
    int AAAAAAAAAAAAA, BBBBBBBBBBBBB, CCCCCCCCCCCCC;
    printf("Enter AAAAAAAAAAAAA:");
    scanf("%d", &AAAAAAAAAAAA);
    printf("Enter BBBBBBBBBBBBB:");
    scanf("%d", &BBBBBBBBBBBB);
    printf("Enter CCCCCCCCCCCCC:");
    scanf("%d", &CCCCCCCCCCCC);
    if ((AAAAAAAAAAAA > BBBBBBBBBBBB))
    {
        if ((AAAAAAAAAAAA > CCCCCCCCCC))
        {
            goto Abigger;
        }
        else
        {
            printf("%d\n", CCCCCCCCCC);
            goto OutofIF;
        }
    }
    Abigger:
    printf("%d\n", AAAAAAAAAA);
    goto OutofIF;
}
if ((BBBBBBBBBBBB < CCCCCCCCCC))
{
    printf("%d\n", CCCCCCCCCC);
}
else
{
    printf("%d\n", BBBBBBBBBBBB);
}
OutofIF:
    if (((AAAAAAAAAAAA == BBBBBBBBBBBB) && (AAAAAAAAAAAA ==
CCCCCCCCCCCC) && (BBBBBBBBBBBB == CCCCCCCCCC)))
    {
        printf("%d\n", 1);
    }
    else
    {
        printf("%d\n", 0);
    }
    if (((AAAAAAAAAAAA < 0) || (BBBBBBBBBBBB < 0) || (CCCCCCCCCCCC < 0)))
    {
        printf("%d\n", -1);
    }
    else
    {

```

```

printf("%d\n", 0);
}
if (!(AAAAAAAAAAAAA < (BBBBBBBBBBBBB + CCCCCCCCCCCC)))
{
printf("%d\n", (10));
}
else
{
printf("%d\n", (0));
}
system("pause");
return 0;
}

```

Prog3.c

```
#include <stdio.h>
```

```
#include <stdlib.h>
```

```

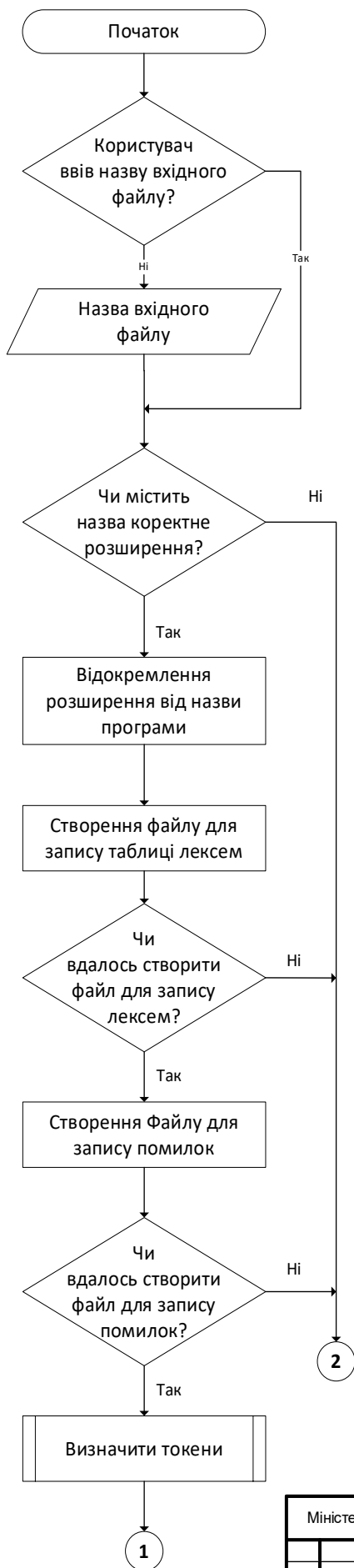
int main()
{
    int AAAAAAAAAAAAA, AAAAAAAAAAAAA2, BBBBBBBBBBBBB, XXXXXXXXXXXXX,
CCCCCCCCCCCC1, CCCCCCCCCCCC2;
    printf("Enter AAAAAAAAAAAAA:");
    scanf("%d", &AAAAAAAAAAAAA);
    printf("Enter BBBBBBBBBBBBB:");
    scanf("%d", &BBBBBBBBBBBBB);
    for (int AAAAAAAAAAAAA2 = AAAAAAAAAAAAA; AAAAAAAAAAAAA2 <=
BBBBBBBBBBBBBB; AAAAAAAAAAAAA2++)
        printf("%d\n", AAAAAAAAAAAAA2 * AAAAAAAAAAAAA2);
    for (int AAAAAAAAAAAAA2 = BBBBBBBBBBBBB; AAAAAAAAAAAAA2 <=
AAAAAAAAAAAAA; AAAAAAAAAAAAA2++)
        printf("%d\n", AAAAAAAAAAAAA2 * AAAAAAAAAAAAA2);
    XXXXXXXXXXXXX = 0;
    CCCCCCCCCCCC1 = 0;
    while (CCCCCCCCCCCC1 < AAAAAAAAAAAAA)
    {
        {
            CCCCCCCCCCCC2 = 0;
            while (CCCCCCCCCCCC2 < BBBBBBBBBBBBB)
            {
                XXXXXXXXXXXXX = XXXXXXXXXXXXX + 1;
                CCCCCCCCCCCC2 = CCCCCCCCCCCC2 + 1;
            }
        }
        CCCCCCCCCCCC1 = CCCCCCCCCCCC1 + 1;
    }
    printf("%d\n", XXXXXXXXXXXXX);
    XXXXXXXXXXXXX = 0;
    CCCCCCCCCCCC1 = 1;
}

```

```

do
{
CCCCCCCCCCCC2 = 1;
do
{
XXXXXXXXXXXXX = XXXXXXXXXXXXXXX + 1;
CCCCCCCCCCCC2 = CCCCCCCCCC2 + 1;
}
while (!(CCCCCCCCCCCC2 > BBBBBBBBBBBBBB));
CCCCCCCCCCCC1 = CCCCCCCCCC1 + 1;
}
while (!(CCCCCCCCCCCC1 > AAAAAAAAAAAAAA));
printf("%d\n", XXXXXXXXXXXXXXX);
system("pause");
return 0;
}

```

Міністерство освіти і науки України					КУРСОВИЙ ПРОЄКТ				
					Розробка системних програмних модулів та компонент систем програмування				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Алгоритм транслятора Р17		Літера	Маса	Масштаб
Виконав		Гаврилюк В. М.					у		
Керівник		Козак Н.Б.							
Консульт.									
Консульт.									
Зав. каф.		Донець Р. Б.			Додаток Г		Аркуш		
Реценз.							Аркушів 1		
							НУ «ЛП», ІКТА, каф. ЕОМ, гр КІ-309		

Додаток В. Абстрактне синтаксичне дерево для тестових прикладів

Тестова програма «Лінійний алгоритм»

```

|-- program
|   |-- var
|       |-- YYYYYYYYYYYY
|       |-- var
|           |-- XXXXXXXXXXXXX
|           |-- var
|               |-- BBBBBBBBBBBBB
|               |-- var
|                   |-- AAAAAAAAAAAAA
|   |-- statement
|       |-- statement
|           |-- statement
|               |-- statement
|                   |-- statement
|                       |-- statement
|                           |-- statement
|                               |-- statement
|                                   |-- statement
|                                       |-- input
|                                           |-- AAAAAAAAAAAAA
|                                           |-- input
|                                               |-- BBBBBBBBBBBBB
|                                                   |-- output
|                                                       |-- +
|                                                           |-- AAAAAAAAAAAAA
|                                                           |-- BBBBBBBBBBBBB
|                                                               |-- output
|                                                                   |-- -
|                                                                       |-- AAAAAAAAAAAAA
|                                                                       |-- BBBBBBBBBBBBB
|                                                                           |-- output
|                                                                               |-- *
|                                                                                   |-- AAAAAAAAAAAAA
|                                                                                   |-- BBBBBBBBBBBBB
|                                                                                       |-- output
|                                                                                           |-- /
|                                                                                               |-- AAAAAAAAAAAAA
|                                                                                               |-- BBBBBBBBBBBBB
|                                                                                                   |-- output
|                                                                                                       |-- %
|                                                                                       |-- AAAAAAAAAAAAA
|                                                                                       |-- BBBBBBBBBBBBB
|                                                                                           |-- <==
|                                                                                               |-- XXXXXXXXXXXXX
|                                                                                               |-- +
|                                                                                                   |-- *
|                                                                                                       |-- -
|                                                                                                           |-- AAAAAAAAAAAAA
|                                                                                                           |-- BBBBBBBBBBBBB
|                                                                                                               |-- 10
|                                                                                                               |-- /
|                                                                                                                   |-- +
|                                                                                                                       |-- AAAAAAAAAAAAA

```



```

|-- output
|-- CCCCCCCCCCCC
|-- goto
|-- OutofIF
|-- Abigger
|-- output
|-- AAAAAAAAAAAAA
goto
|-- OutofIF
|-- if
|-- <=
|-- BBBBBBBBBBBBBB
|-- CCCCCCCCCCCC
|-- branches
|-- compound
|-- output
|-- CCCCCCCCCCCC
|-- compound
|-- output
|-- BBBBBBBBBBBBBB
|-- OutofIF
|-- if
|-- &
|-- &
|-- =
|-- AAAAAAAAAAAAA
|-- BBBBBBBBBBBBBB
|-- =
|-- AAAAAAAAAAAAA
|-- CCCCCCCCCCCC
|-- =
|-- BBBBBBBBBBBBBB
|-- CCCCCCCCCCCC
|-- branches
|-- compound
|-- output
|-- 1
|-- compound
|-- output
|-- 0
|-- if
|-- |
|-- |
|-- <=
|-- AAAAAAAAAAAAA
|-- 0
|-- <=
|-- BBBBBBBBBBBBBB
|-- 0
|-- <=
|-- CCCCCCCCCCCC
|-- 0

```

```

|-- branches
|-- compound
|-- output
|-- -
|-- 0
|-- 1
|-- compound
|-- output
|-- 0
|-- if
|-- !
|-- <=
|-- AAAAAAAAAAAAA
|-- +
|-- BBBBBBBBBBBBBB
|-- CCCCCCCCCCCCCC
|-- branches
|-- compound
|-- output
|-- 10
|-- compound
|-- output
|-- 0

```

Тестова програма «Циклічний алгоритм»

```

|-- program
|-- var
|-- CCCCCCCCCCCC2
|-- var
|-- CCCCCCCCCCCC1
|-- var
|-- XXXXXXXXXXXXXXX
|-- var
|-- BBBBBBBBBBBBBB
|-- var
|-- AAAAAAAAAAAAA2
|-- var
|-- AAAAAAAAAAAAAA
|-- statement
|-- statement
|-- statement
|-- statement
|-- statement
|-- statement
|-- statement
|-- statement
|-- statement
|-- statement
|-- input
AAAAA
|-- input
BBBBB
|-- for-to
|-- <==
AAAAA2
|--
AAAAA

```

```
| | | | | | | | | | | | | | -- body  
| | | | | | | | | | | | | | --  
BBBBBBBBBBBBBB  
| | | | | | | | | | | | | | -- output  
| | | | | | | | | | | | | | -- *  
|-- AAAAAAAAAAAA2  
| | | | | | | | | | | | | |  
|-- AAAAAAAAAAAA2  
| | | | | | | | | | | | | |  
| | | | | | | | | | | | | | -- for-to  
| | | | | | | | | | | | | | -- <==  
| | | | | | | | | | | | | | -- AAAAAAAAAAAA2  
| | | | | | | | | | | | | | -- BBBBBBBBBBBBBB  
| | | | | | | | | | | | | | -- body  
| | | | | | | | | | | | | | -- AAAAAAAAAAAA  
| | | | | | | | | | | | | | -- output  
| | | | | | | | | | | | | | -- *  
| | | | | | | | | | | | | | --  
AAAAAAAAAAAAA2  
| | | | | | | | | | | | | | --  
AAAAAAAAAAAAA2  
| | | | | | | | | | | | | |  
| | | | | | | | | | | | | | -- <==  
| | | | | | | | | | | | | | -- XXXXXXXXXXXXX  
| | | | | | | | | | | | | | -- 0  
| | | | | | | | | | | | | | -- <==  
| | | | | | | | | | | | | | -- CCCCCCCCCCCC1  
| | | | | | | | | | | | | | -- 0  
-- while  
| | | | | | | | | | | | | | -- <=  
| | | | | | | | | | | | | | -- CCCCCCCCCCCC1  
| | | | | | | | | | | | | | -- AAAAAAAAAAAA  
-- statement  
| | | | | | | | | | | | | | -- compound  
| | | | | | | | | | | | | | -- statement  
| | | | | | | | | | | | | | -- statement  
| | | | | | | | | | | | | | -- <==  
| | | | | | | | | | | | | | --  
CCCCCCCCCCCCC2  
| | | | | | | | | | | | | | -- 0  
| | | | | | | | | | | | | | -- while  
| | | | | | | | | | | | | | -- <=  
| | | | | | | | | | | | | | --  
CCCCCCCCCCCCC2  
| | | | | | | | | | | | | | --  
BBBBBBBBBBBBBB  
| | | | | | | | | | | | | | --  
statement  
| | | | | | | | | | | | | | --  
compound  
|-- statement  
|-- <==  
| | | | | | | | | | | | | | -- XXXXXXXXXXXXX  
| | | | | | | | | | | | | | -- +  
| | | | | | | | | | | | | | -- XXXXXXXXXXXXX  
| | | | | | | | | | | | | | -- 1
```

```

|-- <==
|-- CCCCCCCCCC2
|-- +
|-- CCCCCCCCCC2
|-- 1
|-- <==
|-- CCCCCCCCCC1
|-- +
|--
CCCCCCCCCCCC1
|-- 1
|-- output
|-- XXXXXXXXXXXXX
|-- <==
|-- XXXXXXXXXXXXX
|-- 0
|-- <==
|-- CCCCCCCCCC1
|-- 1
|-- repeat-until
|-- body
|-- compound
|-- statement
|-- statement
|-- <==
|-- CCCCCCCCCC2
|-- 1
|-- repeat-until
|-- body
|-- compound
|-- statement
|-- <==
|--
XXXXXXXXXXXXXX
|-- +
|--
XXXXXXXXXXXXXX
|-- 1
|-- <==
|--
CCCCCCCCCCCC2
|-- +
|--
CCCCCCCCCCCC2
|-- 1
|-- !
|-- >=
|-- CCCCCCCCCC2
|-- BBBB BBBB
|-- <==
|-- CCCCCCCCCC1
|-- +
|-- CCCCCCCCCC1
|-- 1
|-- !
|-- >=

```

```

|      |      |      |      |      |      | -- CCCCCCCCCCCC1
|      |      |      |      |      |      | -- AAAAAAAAAAAAAA
|      |      | -- output
|      |      | -- XXXXXXXXXXXXXXXX

```

Додаток Г. Документований текст програмних модулів (лістинги)

Translator.h

```

#pragma once

#define MAX_TOKENS 1000
#define MAX_IDENTIFIER 10

// перерахування, яке описує всі можливі типи лексем
enum TypeOfTokens
{
    BackProgram,
    Mainprogram,
    ProgramName,
    StartProgram,
    Variable,
    Type,
    EndProgram,
    Input,
    Output,

    If,
    Then,
    Else,

    Goto,
    Label,

    For,
    To,
    DownTo,
    Do,

    While,
    Exit,
    Continue,
    End,

    Repeat,
    Until,

    Identifier,
    Number,
    Assign,
    Add,
    Sub,
    Mul,
    Div,
    Mod,
    Equality,
    NotEquality,
    Greater,
    Less,
    Not,
    And,
    Or,
    LBraket,
    RBraket,
    Semicolon,
    Colon,
    Comma,
    Unknown
};

// структура для зберігання інформації про лексему
struct Token
{
    char name[16]; // ім'я лексеми
    int value; // значення лексеми (для цілих констант)
    int line; // номер рядка
    TypeOfTokens type; // тип лексеми
};

// структура для зберігання інформації про ідентифікатор
struct Id
{
    char name[16];
};

// перерахування, яке описує стани лексичного аналізатора
enum States
{
    Start, // початок виділення чергової лексеми
    Finish, // кінець виділення чергової лексеми
    Letter, // опрацювання слів (ключові слова і ідентифікатори)
    Digit, // опрацювання цифри
    Separators, // видалення пробілів, символів табуляції і переходу на новий рядок
    Another, // опрацювання інших символів
    EndOfFile, // кінець файлу
    SComment, // початок коментаря
    Comment // видалення коментаря
};

// перерахування, яке описує всі можливі вузли абстрактного синтаксичного дерева
enum TypeOfNodes
{
    program_node,
    var_node,
    input_node,
    output_node,

    if_node,
    then_node,

    goto_node,

```



```

label_node,

for_to_node,
for_downto_node,

while_node,
exit_while_node,
continue_while_node,

repeat_until_node,

id_node,
num_node,
assign_node,
add_node,
sub_node,
mul_node,
div_node,
mod_node,
or_node,
and_node,
not_node,
cmp_node,
statement_node,
compount_node
};

// структура, яка описує вузол абстрактного синтаксичного дерева (AST)
struct ASTNode
{
    TypeOfNodes nodetype; // Тип вузла
    char name[16]; // Ім'я вузла
    struct ASTNode* left; // Лівий нащадок
    struct ASTNode* right; // Правий нащадок
};

// функція отримує лексеми з вхідного файлу F і записує їх у таблицю лексем TokenTable
// результат функції - кількість лексем
unsigned int GetTokens(FILE* F, Token TokenTable[], FILE* errFile);

// функція друкує таблицю лексем на екран
void PrintTokens(Token TokenTable[], unsigned int TokensNum);

// функція друкує таблицю лексем у файл
void PrintTokensToFile(char* FileName, Token TokenTable[], unsigned int TokensNum);

// синтаксичний аналіз методом рекурсивного спуску
// вхідні дані - глобальна таблиця лексем TokenTable
void Parser(FILE* errFile);

// функція синтаксичного аналізу і створення абстрактного синтаксичного дерева
ASTNode* ParserAST();

// функція знищення дерева
void destroyTree(ASTNode* root);

// функція для друку AST у вигляді дерева на екран
void PrintAST(ASTNode* node, int level);

// функція для друку AST у вигляді дерева у файл
void PrintASTToFile(ASTNode* node, int level, FILE* outFile);

// Рекурсивна функція для генерації коду з AST
void generateCodefromAST(ASTNode* node, FILE* output);

// функція для генерації коду
void generateCCode(FILE* outFile);

void compile_to_exe(const char* source_file, const char* output_file);

```

Ast.cpp

```

#define _CRT_SECURE_NO_WARNINGS
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include "translator.h"
#include <iostream>

// таблиця лексем
extern Token* TokenTable;
// кількість лексем
extern unsigned int TokensNum;

static int pos = 0;

// функція створення вузла AST
ASTNode* createNode(TypeOfNodes type, const char* name, ASTNode* left, ASTNode* right)
{
    ASTNode* node = (ASTNode*)malloc(sizeof(ASTNode));
    node->nodetype = type;
    strcpy_s(node->name, name);
    node->left = left;
    node->right = right;
    return node;
}

// функція знищення дерева
void destroyTree(ASTNode* root)
{
    if (root == NULL)
        return;

    // Рекурсивно знищуємо ліве і праве піддерево
    destroyTree(root->left);
    destroyTree(root->right);

    // Звільняємо пам'ять для поточного вузла
    free(root);
}

// набір функцій для рекурсивного спуску
// на кожне правило - окрема функція
ASTNode* program();
ASTNode* variable_declaration();
ASTNode* variable_list();
ASTNode* program_body();
ASTNode* statement();
ASTNode* assignment();
ASTNode* arithmetic_expression();
ASTNode* term();

```

```

ASTNode* factor();
ASTNode* input();
ASTNode* output();
ASTNode* conditional();

ASTNode* goto_statement();
ASTNode* label_statement();
ASTNode* for_to_do();
ASTNode* for_downto_do();
ASTNode* while_statement();
ASTNode* repeat_until();

ASTNode* logical_expression();
ASTNode* and_expression();
ASTNode* comparison();
ASTNode* compound_statement();

// функція синтаксичного аналізу і створення абстрактного синтаксичного дерева
ASTNode* ParserAST()
{
    ASTNode* tree = program();

    printf("\nParsing completed. AST created.\n");

    return tree;
}

static void match(TokenType expectedType)
{
    if (TokenTable[pos].type == expectedType)
        pos++;
    else
    {
        printf("\nSyntax error in line %d: Expected another type of lexeme.\n", TokenTable[pos].line);
        std::cout << "AST Type: " << TokenTable[pos].type << std::endl;
        std::cout << "AST Expected type: " << expectedType << std::endl;
        exit(10);
    }
}

// <програма> = 'start' 'var' <оголошення змінних> ';' <тіло програми> 'stop'
ASTNode* program()
{
    match(BackProgram);
    match(Mainprogram);
    match(ProgramName);
    match(StartProgram);
    match(Variable);
    ASTNode* declarations = variable_declaration();
    match(Semicolon);
    ASTNode* body = program_body();
    match(EndProgram);
    return createNode(program_node, "program", declarations, body);
}

// <оголошення змінних> = [<тип даних> <список змінних>]
ASTNode* variable_declaration()
{
    if (TokenTable[pos].type == Type)
    {
        pos++;
        return variable_list();
    }
    return NULL;
}

// <список змінних> = <ідентифікатор> { ';' <ідентифікатор> }
ASTNode* variable_list()
{
    match(Identifier);
    ASTNode* id = createNode(id_node, TokenTable[pos - 1].name, NULL, NULL);
    ASTNode* list = list = createNode(var_node, "var", id, NULL);
    while (TokenTable[pos].type == Comma)
    {
        match(Comma);
        match(Identifier);
        id = createNode(id_node, TokenTable[pos - 1].name, NULL, NULL);
        list = createNode(var_node, "var", id, list);
    }
    return list;
}

// <тіло програми> = <оператор> ';' { <оператор> ';' }
ASTNode* program_body()
{
    ASTNode* stmt = statement();
    //match(Semicolon);
    ASTNode* body = stmt;
    while (TokenTable[pos].type != EndProgram)
    {
        ASTNode* nextStmt = statement();
        body = createNode(statement_node, "statement", body, nextStmt);
    }
    return body;
}

// <оператор> = <присвоєння> | <ввід> | <вивід> | <умовний оператор> | <складений оператор>
ASTNode* statement()
{
    switch (TokenTable[pos].type)
    {
        case Input: return input();
        case Output: return output();
        case If: return conditional();
        case StartProgram: return compound_statement();
        case Goto: return goto_statement();
        case Label: return label_statement();
        case For:
        {
            int temp_pos = pos + 1;
            while (TokenTable[temp_pos].type != To && TokenTable[temp_pos].type != DownTo && temp_pos < TokensNum)
            {
                temp_pos++;
            }
            if (TokenTable[temp_pos].type == To)
            {
                return for_to_do();
            }
            else if (TokenTable[temp_pos].type == DownTo)
            {
                return for_downto_do();
            }
        }
    }
}

```

```

else
{
    printf("Error: Expected 'To' or 'DownTo' after 'For'\n");
    exit(1);
}
}
case While: return while_statement();
case Exit:
    match(Exit);
    match(While);
    return createNode(exit_while_node, "exit-while", NULL, NULL);
case Continue:
    match(Continue);
    match(While);
    return createNode(continue_while_node, "continue-while", NULL, NULL);
case Repeat: return repeat_until();
default: return assignment();
}
}

// <присвоєння> = <ідентифікатор> '=' <арифметичний вираз>
ASTNode* assignment()
{
    ASTNode* id = createNode(id_node, TokenTable[pos].name, NULL, NULL);
    match(Identifier);
    match(Assign);
    ASTNode* expr = arithmetic_expression();
    match(Semicolon);
    return createNode(assign_node, "<==>", id, expr);
}

// <арифметичний вираз> = <доданок> { ('+' | '-') <доданок> }
ASTNode* arithmetic_expression()
{
    ASTNode* left = term();
    while (TokenTable[pos].type == Add || TokenTable[pos].type == Sub)
    {
        TypeOfTokens op = TokenTable[pos].type;
        match(op);
        ASTNode* right = term();
        if (op == Add)
            left = createNode(add_node, "+", left, right);
        else
            left = createNode(sub_node, "-", left, right);
    }
    return left;
}

// <доданок> = <множник> { ('*' | '/') <множник> }
ASTNode* term()
{
    ASTNode* left = factor();
    while (TokenTable[pos].type == Mul || TokenTable[pos].type == Div || TokenTable[pos].type == Mod)
    {
        TypeOfTokens op = TokenTable[pos].type;
        match(op);
        ASTNode* right = factor();
        if (op == Mul)
            left = createNode(mul_node, "*", left, right);
        if (op == Div)
            left = createNode(div_node, "/", left, right);
        if (op == Mod)
            left = createNode(mod_node, "%", left, right);
    }
    return left;
}

// <множник> = <ідентифікатор> | <число> | '(' <арифметичний вираз> ')'
ASTNode* factor()
{
    if (TokenTable[pos].type == Identifier)
    {
        ASTNode* id = createNode(id_node, TokenTable[pos].name, NULL, NULL);
        match(Identifier);
        return id;
    }
    else
    {
        if (TokenTable[pos].type == Number)
        {
            ASTNode* num = createNode(num_node, TokenTable[pos].name, NULL, NULL);
            match(Number);
            return num;
        }
        else
        {
            if (TokenTable[pos].type == LBraket)
            {
                match(LBraket);
                ASTNode* expr = arithmetic_expression();
                match(RBraket);
                return expr;
            }
            else
            {
                printf("\nSyntax error in line %d: A multiplier was expected.\n", TokenTable[pos].line);
                exit(11);
            }
        }
    }
}

// <вхід> = 'input' <ідентифікатор>
ASTNode* input()
{
    match(Input);
    ASTNode* id = createNode(id_node, TokenTable[pos].name, NULL, NULL);
    match(Identifier);
    match(Semicolon);
    return createNode(input_node, "input", id, NULL);
}

// <вихід> = 'output' <ідентифікатор>
ASTNode* output()
{
    match(Output); // Match the "Output" token

    ASTNode* expr = NULL;
    // Check for a negative number
    if (TokenTable[pos].type == Sub && TokenTable[pos + 1].type == Number)
    {
        pos++; // Skip the 'Sub' token
        expr = createNode(sub_node, "-", createNode(num_node, "0", NULL, NULL),
            createNode(num_node, TokenTable[pos].name, NULL, NULL));
        match(Number); // Match the number token
    }
}

```

```

    }
    else
    {
        // Parse the arithmetic expression
        expr = arithmetic_expression();
    }
    match(Semicolon); // Ensure the statement ends with a semicolon

    // Create the output node with the parsed expression as its left child
    return createNode(output_node, "output", expr, NULL);
}

// <умовний оператор> = 'if' <логічний вираз> <оператор> [ 'else' <оператор> ]
ASTNode* conditional()
{
    match(If);
    ASTNode* condition = logical_expression();
    ASTNode* ifBranch = statement();
    ASTNode* elseBranch = NULL;
    if (TokenTable[pos].type == Else)
    {
        match(Else);
        elseBranch = statement();
    }
    return createNode(if_node, "if", condition, createNode(statement_node, "branches", ifBranch, elseBranch));
}

ASTNode* goto_statement()
{
    match(Goto);
    if (TokenTable[pos].type == Identifier)
    {
        ASTNode* label = createNode(label_node, TokenTable[pos].name, NULL, NULL);
        match(Identifier);
        match(Semicolon);
        return createNode(goto_node, "goto", label, NULL);
    }
    else
    {
        printf("Syntax error: Expected a label after 'goto' at line %d.\n", TokenTable[pos].line);
        exit(1);
    }
}

ASTNode* label_statement()
{
    match(Label);
    ASTNode* label = createNode(label_node, TokenTable[pos - 1].name, NULL, NULL);
    return label;
}

ASTNode* for_to_do()
{
    match(For);

    if (TokenTable[pos].type != Identifier)
    {
        printf("Syntax error: Expected variable name after 'for' at line %d.\n", TokenTable[pos].line);
        exit(1);
    }
    ASTNode* var = createNode(id_node, TokenTable[pos].name, NULL, NULL);
    match(Identifier);
    match(Assign);
    ASTNode* start = arithmetic_expression();
    match(To);
    ASTNode* end = arithmetic_expression();
    match(Do);
    ASTNode* body = statement();
    // Повеграємо вигол циклу for-to
    return createNode(for_to_node, "for-to",
        createNode(assign_node, "<===", var, start),
        createNode(statement_node, "body", end, body));
}

ASTNode* for_downto_do()
{
    // Опікуємо "for"
    match(For);

    // Опікуємо ідентифікатор змінної циклу
    if (TokenTable[pos].type != Identifier)
    {
        printf("Syntax error: Expected variable name after 'for' at line %d.\n", TokenTable[pos].line);
        exit(1);
    }
    ASTNode* var = createNode(id_node, TokenTable[pos].name, NULL, NULL);
    match(Identifier);
    match(Assign);
    ASTNode* start = arithmetic_expression();
    match(DownTo);
    ASTNode* end = arithmetic_expression();
    match(Do);
    ASTNode* body = statement();
    // Повеграємо вигол циклу for-to
    return createNode(for_downto_node, "for-downto",
        createNode(assign_node, "<===", var, start),
        createNode(statement_node, "body", end, body));
}

ASTNode* while_statement()
{
    match(While);
    ASTNode* condition = logical_expression();

    // Parse the body of the While loop
    ASTNode* body = NULL;
    while (1) // Process until "End While"
    {
        if (TokenTable[pos].type == End)
        {
            match(End);
            match(While);
            break; // End of the While loop
        }
        else
        {

```

```

        // Delegate to the 'statement' function
        ASTNode* stmt = statement();
        body = createNode(statement_node, "statement", body, stmt);
    }
}

return createNode(while_node, "while", condition, body);
}

// Updated variable validation logic
ASTNode* validate_identifier()
{
    const char* identifierName = TokenTable[pos].name;

    // Check if the identifier was declared
    bool declared = false;
    for (unsigned int i = 0; i < TokensNum; i++)
    {
        if (TokenTable[i].type == Variable && !strcmp(TokenTable[i].name, identifierName))
        {
            declared = true;
            break;
        }
    }

    if (!declared && (pos == 0 || TokenTable[pos - 1].type != Goto))
    {
        printf("Syntax error: Undeclared identifier '%s' at line %d.\n", identifierName, TokenTable[pos].line);
        exit(1);
    }

    match(Identifier);
    return createNode(id_node, identifierName, NULL, NULL);
}

ASTNode* repeat_until()
{
    match(Repeat);
    ASTNode* body = NULL;
    ASTNode* stmt = statement();
    body = createNode(statement_node, "body", body, stmt);
    //pos++;
    match(Until);
    ASTNode* condition = logical_expression();
    return createNode(repeat_until_node, "repeat-until", body, condition);
}

// <логічний вираз> = <вираз I> { '!' <вираз I> }
ASTNode* logical_expression()
{
    ASTNode* left = and_expression();
    while (TokenTable[pos].type == Or)
    {
        match(Or);
        ASTNode* right = and_expression();
        left = createNode(or_node, "!", left, right);
    }
    return left;
}

// <вираз I> = <порівняння> { '&' <порівняння> }
ASTNode* and_expression()
{
    ASTNode* left = comparison();
    while (TokenTable[pos].type == And)
    {
        match(And);
        ASTNode* right = comparison();
        left = createNode(and_node, "&", left, right);
    }
    return left;
}

// <порівняння> = <операція порівняння> | '!' ('<логічний вираз>') | ('<логічний вираз>')
// <операція порівняння> = <арифметичний вираз> <менше-більше> <арифметичний вираз>
// <менше-більше> = '>' | '<' | '=' | '<='
ASTNode* comparison()
{
    if (TokenTable[pos].type == Not)
    {
        // Варіант: ! (<логічний вираз>)
        match(Not);
        match(LBraket);
        ASTNode* expr = logical_expression();
        match(RBraket);
        return createNode(not_node, "!", expr, NULL);
    }
    else
    {
        if (TokenTable[pos].type == LBraket)
        {
            // Варіант: ( <логічний вираз> )
            match(LBraket);
            ASTNode* expr = logical_expression();
            match(RBraket);
            return expr; // Повертаємо вираз у дужках як піддерево
        }
        else
        {
            // Варіант: <арифметичний вираз> <менше-більше> <арифметичний вираз>
            ASTNode* left = arithmetic_expression();
            if (TokenTable[pos].type == Greater || TokenTable[pos].type == Less ||
                TokenTable[pos].type == Equality || TokenTable[pos].type == NotEquality)
            {
                TypeOfTokens op = TokenTable[pos].type;
                char operatorName[16];
                strcpy_s(operatorName, TokenTable[pos].name);
                match(op);
                ASTNode* right = arithmetic_expression();
                return createNode(cmp_node, operatorName, left, right);
            }
            else
            {
                printf("\nSyntax error: A comparison operation is expected.\n");
                exit(12);
            }
        }
    }
}

// <складений оператор> = 'start' <тіло програми> 'stop'

```

```

ASTNode* compound_statement()
{
    match(StartProgram);
    ASTNode* body = program_body();
    match(EndProgram);
    return createNode(compount_node, "compound", body, NULL);
}

// функція для друку AST у вигляді дерева на екран
void PrintAST(ASTNode* node, int level)
{
    if (node == NULL)
        return;

    // Відступи для позначення рівня вузла
    for (int i = 0; i < level; i++)
        printf("  ");

    // Виводимо інформацію про вузол
    printf("[- %s", node->name);
    printf("\n");

    // Рекурсивний друк лівого та правого піддерева
    if (node->left || node->right)
    {
        PrintAST(node->left, level + 1);
        PrintAST(node->right, level + 1);
    }
}

// функція для друку AST у вигляді дерева у файл
void PrintASTToFile(ASTNode* node, int level, FILE* outFile)
{
    if (node == NULL)
        return;

    // Відступи для позначення рівня вузла
    for (int i = 0; i < level; i++)
        fprintf(outFile, "  ");

    // Виводимо інформацію про вузол
    fprintf(outFile, "[- %s", node->name);
    fprintf(outFile, "\n");

    // Рекурсивний друк лівого та правого піддерева
    if (node->left || node->right)
    {
        PrintASTToFile(node->left, level + 1, outFile);
        PrintASTToFile(node->right, level + 1, outFile);
    }
}

```

Codegen.cpp

```

#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#include "translator.h"

// таблиця лексем
extern Token* TokenTable;
// кількість лексем
extern unsigned int TokensNum;

// таблиця ідентифікаторів
extern Id* IdTable;
// кількість ідентифікаторів
extern unsigned int IdNum;

static int pos = 2;

// набір функцій для рекурсивного спуску
// на кожне правило - окрема функція

void gen_variable_declaration(FILE* outFile);
void gen_variable_list(FILE* outFile);
void gen_program_body(FILE* outFile);
void gen_statement(FILE* outFile);
void gen_assignment(FILE* outFile);
void gen_arithmetic_expression(FILE* outFile);
void gen_term(FILE* outFile);
void gen_factor(FILE* outFile);
void gen_input(FILE* outFile);
void gen_output(FILE* outFile);
void gen_conditional(FILE* outFile);

void gen_goto_statement(FILE* outFile);
void gen_label_statement(FILE* outFile);
void gen_for_do(FILE* outFile);
void gen_for_downto_do(FILE* outFile);
void gen_while_statement(FILE* outFile);
void gen_repeat_until(FILE* outFile);

void gen_logical_expression(FILE* outFile);
void gen_and_expression(FILE* outFile);
void gen_comparison(FILE* outFile);
void gen_compound_statement(FILE* outFile);

void generateCCode(FILE* outFile)
{
    fprintf(outFile, "#include <stdio.h>\n");
    fprintf(outFile, "#include <stdlib.h>\n\n");
    fprintf(outFile, "int main() \n{ \n");
    pos++;
    pos++;
    gen_variable_declaration(outFile);
    fprintf(outFile, ";\n");
    pos++;
    gen_program_body(outFile);
    fprintf(outFile, "    system(\"pause\");\n");
    fprintf(outFile, "    return 0;\n");
    fprintf(outFile, "} \n");
}

// <оголошення змінних> = [<тип даних> <список змінних>]
void gen_variable_declaration(FILE* outFile)
{
    if (TokenTable[pos + 1].type == Type)
    {

```

```

        fprintf(outFile, "    int ");
        pos++;
        pos++;
        gen_variable_list(outFile);
    }
}

// <список змінних> = <ідентифікатор> { ',' <ідентифікатор> }
void gen_variable_list(FILE* outFile)
{
    fprintf(outFile, TokenTable[pos+1].name);
    while (TokenTable[pos].type == Comma)
    {
        fprintf(outFile, ", ");
        pos++;
        fprintf(outFile, TokenTable[pos+1].name);
    }
}

// <тіло програми> = <оператор> ';' { <оператор> ';' }
void gen_program_body(FILE* outFile)
{
    while (pos < TokensNum && TokenTable[pos].type != EndProgram)
    {
        gen_statement(outFile);
    }

    if (pos >= TokensNum || TokenTable[pos].type != EndProgram)
    {
        printf("Error: 'EndProgram' token not found or unexpected end of tokens.\n");
        exit(1);
    }
}

// <оператор> = <присвоєння> | <ввід> | <вивід> | <умовний оператор> | <складений оператор>
void gen_statement(FILE* outFile)
{
    switch (TokenTable[pos].type)
    {
        case Input: gen_input(outFile); break;
        case Output: gen_output(outFile); break;
        case If: gen_conditional(outFile); break;
        case StartProgram: gen_compound_statement(outFile); break;
        case Goto: gen_goto_statement(outFile); break;
        case Label: gen_label_statement(outFile); break;
        case For:
        {
            int temp_pos = pos + 1;

            while (TokenTable[temp_pos].type != To && TokenTable[temp_pos].type != DownTo && temp_pos < TokensNum)
            {
                temp_pos++;
            }

            if (TokenTable[temp_pos].type == To)
            {
                gen_for_to_do(outFile);
            }
            else if (TokenTable[temp_pos].type == DownTo)
            {
                gen_for_downto_do(outFile);
            }
            else
            {
                printf("Error: Expected 'To' or 'DownTo' after 'For'\n");
            }
        }
        break;
        case While: gen_while_statement(outFile); break;
        case Exit:
        {
            fprintf(outFile, "    break;\n");
            pos += 2;
            break;
        }
        case Continue:
        {
            fprintf(outFile, "    continue;\n");
            pos += 2;
            break;
        }
        case Repeat: gen_repeat_until(outFile); break;
        default: gen_assignment(outFile);
    }
}

// <присвоєння> = <ідентифікатор> '=' <арифметичний вираз>
void gen_assignment(FILE* outFile)
{
    fprintf(outFile, "    ");
    fprintf(outFile, TokenTable[pos+1].name);
    fprintf(outFile, " = ");
    pos++;
    gen_arithmetic_expression(outFile);
    pos++;
    fprintf(outFile, ";\n");
}

// <арифметичний вираз> = <доданок> { ('+' | '-') <доданок> }
void gen_arithmetic_expression(FILE* outFile)
{
    gen_term(outFile);
    while (TokenTable[pos].type == Add || TokenTable[pos].type == Sub)
    {
        if (TokenTable[pos].type == Add)
            fprintf(outFile, " + ");
        else
            fprintf(outFile, " - ");
        pos++;
        gen_term(outFile);
    }
}

// <доданок> = <множник> { ('*' | '/') <множник> }
void gen_term(FILE* outFile)
{
    gen_factor(outFile);
    while (TokenTable[pos].type == Mul || TokenTable[pos].type == Div || TokenTable[pos].type == Mod)
    {
        if (TokenTable[pos].type == Mul)
            fprintf(outFile, " * ");
        if (TokenTable[pos].type == Div)
            fprintf(outFile, " / ");
        if (TokenTable[pos].type == Mod)
            fprintf(outFile, " %% ");
    }
}

```

```

        pos++;
        gen_factor(outFile);
    }
}

// <множник> = <дентифікатор> | <число> | '(' <арифметичний вираз> ')'
void gen_factor(FILE* outFile)
{
    if (TokenTable[pos].type == Identifier || TokenTable[pos].type == Number)
        fprintf(outFile, TokenTable[pos+1].name);
    else
        if (TokenTable[pos].type == LBracket)
        {
            fprintf(outFile, "(");
            pos++;
            gen_arithmetic_expression(outFile);
            fprintf(outFile, ")");
            pos++;
        }
}

// <вв≥д> = 'input' <дентифікатор>
void gen_input(FILE* outFile)
{
    fprintf(outFile, "    printf(\"Enter \");\n");
    fprintf(outFile, TokenTable[pos + 1].name);
    fprintf(outFile, ";\n");
    fprintf(outFile, "    scanf(\"%d\", &");
    pos++;
    fprintf(outFile, TokenTable[pos+1].name);
    fprintf(outFile, ");\n");
    pos++;
}

// <вив≥д> = 'output' <дентифікатор>
void gen_output(FILE* outFile)
{
    pos++;

    if (TokenTable[pos].type == Sub && TokenTable[pos + 1].type == Number)
    {
        fprintf(outFile, "    printf(\"%d\\n\", -%s);\n", TokenTable[pos + 1].name);
        pos += 2;
    }
    else
    {
        fprintf(outFile, "    printf(\"%d\\n\", ");
        gen_arithmetic_expression(outFile);
        fprintf(outFile, ");\n");
    }

    if (TokenTable[pos].type == Semicolon)
    {
        pos++;
    }
    else
    {
        printf("Error: Expected a semicolon at the end of 'Output' statement.\n");
        exit(1);
    }
}

// <умовний оператор> = 'if' <логічний вираз> 'then' <оператор> [ 'else' <оператор> ]
void gen_conditional(FILE* outFile)
{
    fprintf(outFile, "    if (");
    pos++;
    gen_logical_expression(outFile);
    fprintf(outFile, ")n");
    gen_statement(outFile);
    if (TokenTable[pos].type == Else)
    {
        fprintf(outFile, "    else\n");
        pos++;
        gen_statement(outFile);
    }
}

void gen_goto_statement(FILE* outFile)
{
    fprintf(outFile, "    goto %s;\n", TokenTable[pos + 1].name);
    pos += 3;
}

void gen_label_statement(FILE* outFile)
{
    fprintf(outFile, "%s:\n", TokenTable[pos].name);
    pos++;
}

void gen_for_to_do(FILE* outFile)
{
    int temp_pos = pos + 1;

    const char* loop_var = TokenTable[temp_pos].name;
    temp_pos += 2;

    fprintf(outFile, "    for (int %s = ", loop_var);
    pos = temp_pos;
    gen_arithmetic_expression(outFile);
    fprintf(outFile, ", ");

    while (TokenTable[pos].type != To && pos < TokensNum)
    {
        pos++;
    }

    if (TokenTable[pos].type == To)
    {
        pos++;
        fprintf(outFile, "%s <= ", loop_var);
        gen_arithmetic_expression(outFile);
    }
    else
    {
        printf("Error: Expected 'To' in For-To loop\n");
        return;
    }
}

```



```

fprintf(outFile, "; %s++)\n", loop_var);

if (TokenTable[pos].type == Do)
{
    pos++;
}
else
{
    printf("Error: Expected 'Do' after 'To' clause\n");
    return;
}

gen_statement(outFile);
}
void gen_for_downto_do(FILE* outFile)
{
    int temp_pos = pos + 1;

    const char* loop_var = TokenTable[temp_pos].name;
    temp_pos += 2;

    fprintf(outFile, "    for (int %s = ", loop_var);
    pos = temp_pos;
    gen_arithmetic_expression(outFile);
    fprintf(outFile, "; ");

    while (TokenTable[pos].type != DownTo && pos < TokensNum)
    {
        pos++;
    }

    if (TokenTable[pos].type == DownTo)
    {
        pos++;

        fprintf(outFile, "%s >= ", loop_var);
        gen_arithmetic_expression(outFile);
    }
    else
    {
        printf("Error: Expected 'Downto' in For-Downto loop\n");
        return;
    }

    fprintf(outFile, "; %s--)\n", loop_var);

    if (TokenTable[pos].type == Do)
    {
        pos++;
    }
    else
    {
        printf("Error: Expected 'Do' after 'Downto' clause\n");
        return;
    }

    gen_statement(outFile);
}

void gen_while_statement(FILE* outFile)
{
    fprintf(outFile, "    while (");
    pos++;
    gen_logical_expression(outFile);
    fprintf(outFile, ")\n    {\n");

    while (pos < TokensNum)
    {
        if (TokenTable[pos].type == End && TokenTable[pos + 1].type == While)
        {
            pos += 2;
            break;
        }
        else
        {
            gen_statement(outFile);
            if (TokenTable[pos].type == Semicolon)
            {
                pos++;
            }
        }
    }

    fprintf(outFile, "    }\n");
}

void gen_repeat_until(FILE* outFile)
{
    fprintf(outFile, "    do\n");
    pos++;
    do
    {
        gen_statement(outFile);
    } while (TokenTable[pos].type != Until);
    fprintf(outFile, "    while (");
    pos++;
    gen_logical_expression(outFile);
    fprintf(outFile, ");\n");
}

// <ор≥until выраз> = <выраз> { '|' <выраз> }
void gen_logical_expression(FILE* outFile)
{
    gen_and_expression(outFile);
    while (TokenTable[pos].type == Or)
    {
        fprintf(outFile, " | ");
        pos++;
        gen_and_expression(outFile);
    }
}

// <выраз> ≤ = <пор≥вычисл> { '&' <пор≥вычисл> }
void gen_and_expression(FILE* outFile)
{
    gen_comparison(outFile);
    while (TokenTable[pos].type == And)
    {
        fprintf(outFile, " && ");
        pos++;
    }
}

```

```

        gen_comparison(outFile);
    }
}

// <пор≥вн: <операт≥ пор≥вн: <C!C C(C <лог≥чний вираз> C)C | C(C <лог≥чний вираз> C)C
// <операт≥ пор≥вн: <арифметичний вираз> <менше-б≥льше> <арифметичний вираз>
// <менше-б≥льше> = C>C | C<C | C=C | C<>C
void gen_comparison(FILE* outFile)
{
    if (TokenTable[pos].type == Not)
    {
        // -ар≥ант: ! (<лог≥чний вираз>)
        fprintf(outFile, "!(");
        pos++;
        pos++;
        gen_logical_expression(outFile);
        fprintf(outFile, ")");
        pos++;
    }
    else
    {
        if (TokenTable[pos].type == LBracket)
        {
            // -ар≥ант: (<лог≥чний вираз>)
            fprintf(outFile, "(");
            pos++;
            gen_logical_expression(outFile);
            fprintf(outFile, ")");
            pos++;
        }
        else
        {
            // -ар≥ант: <арифметичний вираз> <менше-б≥льше> <арифметичний вираз>
            gen_arithmetic_expression(outFile);
            if (TokenTable[pos].type == Greater || TokenTable[pos].type == Less ||
                TokenTable[pos].type == Equality || TokenTable[pos].type == NotEquality)
            {
                switch (TokenTable[pos].type)
                {
                    case Greater: fprintf(outFile, ">"); break;
                    case Less: fprintf(outFile, "<"); break;
                    case Equality: fprintf(outFile, "=="); break;
                    case NotEquality: fprintf(outFile, "!="); break;
                }
                pos++;
                gen_arithmetic_expression(outFile);
            }
        }
    }
}

// <складений оператор> = 'start' <тіло програми> 'stop'
void gen_compound_statement(FILE* outFile)
{
    fprintf(outFile, "{\n");
    pos++;
    gen_program_body(outFile);
    fprintf(outFile, "}\n");
    pos++;
}

```

Codegenfromast.cpp

```

#define _CRT_SECURE_NO_WARNINGS
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include "translator.h"

```

```

// Рекурсивна функція для генерації коду з AST
void generateCodefromAST(ASTNode* node, FILE* outFile)
{
    if (node == NULL)
        return;

    switch (node->nodetype)
    {
        case program_node:
        {
            fprintf(outFile, "#include <stdio.h>\n#include <stdlib.h>\n\nint main() {\n");
            generateCodefromAST(node->left, outFile); // Оголошення змінних
            generateCodefromAST(node->right, outFile); // Тіло програми
            fprintf(outFile, "    system(\"pause\");\n");
            fprintf(outFile, "    return 0;\n}\n");
            break;
        }

        case var_node:
        {
            // Якщо є права частина (інші змінні), додаємо коми і генеруємо для них код
            if (node->right != NULL)
            {
                fprintf(outFile, ", ");
                generateCodefromAST(node->right, outFile); // Рекурсивно генеруємо код для інших змінних
            }
            fprintf(outFile, "    int "); // Виводимо тип змінних (в даному випадку int)
            generateCodefromAST(node->left, outFile);
            fprintf(outFile, ";\n"); // Завершуємо оголошення змінних
            break;
        }

        case id_node:
        {
            fprintf(outFile, "%s", node->name);
            break;
        }

        case num_node:
        {
            fprintf(outFile, "%s", node->name);
            break;
        }

        case assign_node:
        {
            fprintf(outFile, " ");
            generateCodefromAST(node->left, outFile);
            fprintf(outFile, " = ");
            generateCodefromAST(node->right, outFile);
            fprintf(outFile, ";\n");
            break;
        }

        case add_node:
        {
            fprintf(outFile, "(");
            generateCodefromAST(node->left, outFile);
            fprintf(outFile, " + ");
            generateCodefromAST(node->right, outFile);
            fprintf(outFile, ")");
            break;
        }

        case sub_node:
        {
            fprintf(outFile, "(");
            generateCodefromAST(node->left, outFile);
            fprintf(outFile, " - ");
            generateCodefromAST(node->right, outFile);
        }
    }
}

```

```

fprintf(outFile, " ");
break;

case mul_node:
    fprintf(outFile, "(");
    generateCodefromAST(node->left, outFile);
    fprintf(outFile, " * ");
    generateCodefromAST(node->right, outFile);
    fprintf(outFile, ")");
    break;

case mod_node:
    fprintf(outFile, "(");
    generateCodefromAST(node->left, outFile);
    fprintf(outFile, " %% ");
    generateCodefromAST(node->right, outFile);
    fprintf(outFile, ")");
    break;

case div_node:
    fprintf(outFile, "(");
    generateCodefromAST(node->left, outFile);
    fprintf(outFile, " / ");
    generateCodefromAST(node->right, outFile);
    fprintf(outFile, ")");
    break;

case input_node:
    fprintf(outFile, "    printf(\"Enter \");
    generateCodefromAST(node->left, outFile);
    fprintf(outFile, "\");\n");
    fprintf(outFile, "    scanf(\"%d\", &");
    generateCodefromAST(node->left, outFile);
    fprintf(outFile, ");\n");
    break;

case output_node:
    fprintf(outFile, "    printf(\"%d\n\", ");
    generateCodefromAST(node->left, outFile);

    fprintf(outFile, ");\n");
    break;

case if_node:
    fprintf(outFile, "    if (");
    generateCodefromAST(node->left, outFile);
    fprintf(outFile, ") \n");
    generateCodefromAST(node->right->left, outFile);
    if (node->right->right != NULL)
    {
        fprintf(outFile, "    else\n");
        generateCodefromAST(node->right->right, outFile);
    }
    break;

case goto_node:
    fprintf(outFile, "    goto %s;\n", node->left->name);
    break;

case label_node:
    fprintf(outFile, "%s:\n", node->name);
    break;

case for_to_node:
    fprintf(outFile, "    for (int ");
    generateCodefromAST(node->left->left, outFile);
    fprintf(outFile, " = ");
    generateCodefromAST(node->left->right, outFile);
    fprintf(outFile, "; ");
    generateCodefromAST(node->left->left, outFile);
    fprintf(outFile, " <= ");
    generateCodefromAST(node->right->left, outFile);
    fprintf(outFile, "; ");
    generateCodefromAST(node->left->left, outFile);
    fprintf(outFile, "++)\n");
    generateCodefromAST(node->right->right, outFile);
    break;

case for_downto_node:
    fprintf(outFile, "    for (int ");
    generateCodefromAST(node->left->left, outFile);
    fprintf(outFile, " = ");
    generateCodefromAST(node->left->right, outFile);
    fprintf(outFile, "; ");
    generateCodefromAST(node->left->left, outFile);
    fprintf(outFile, " >= ");
    generateCodefromAST(node->right->left, outFile);
    fprintf(outFile, "; ");
    generateCodefromAST(node->left->left, outFile);
    fprintf(outFile, "--)\n");
    generateCodefromAST(node->right->right, outFile);
    break;

case while_node:
    fprintf(outFile, "    while (");
    generateCodefromAST(node->left, outFile);
    fprintf(outFile, ")\n");
    fprintf(outFile, "    {\n");
    generateCodefromAST(node->right, outFile);
    fprintf(outFile, "    }\n");
    break;

case exit_while_node:
    fprintf(outFile, "    break;\n");
    break;

case continue_while_node:
    fprintf(outFile, "    continue;\n");
    break;

case repeat_until_node:
    fprintf(outFile, "    do\n");
    generateCodefromAST(node->left, outFile);
    fprintf(outFile, "    while (");
    generateCodefromAST(node->right, outFile);
    fprintf(outFile, ");\n");
    break;

case or_node:
    fprintf(outFile, "(");
    generateCodefromAST(node->left, outFile);
    fprintf(outFile, " || ");

```

```

generateCodefromAST(node->right, outFile);
fprintf(outFile, " ");
break;

case and_node:
    fprintf(outFile, "(");
    generateCodefromAST(node->left, outFile);
    fprintf(outFile, " && ");
    generateCodefromAST(node->right, outFile);
    fprintf(outFile, ")");
    break;

case not_node:
    fprintf(outFile, "!");
    generateCodefromAST(node->left, outFile);
    fprintf(outFile, ")");
    break;

case cmp_node:
    generateCodefromAST(node->left, outFile);
    if (!strcmp(node->name, "="))
        fprintf(outFile, " == ");
    else if (!strcmp(node->name, "<>"))
        fprintf(outFile, " != ");
    else if (!strcmp(node->name, "<="))
        fprintf(outFile, " < ");
    else if (!strcmp(node->name, ">="))
        fprintf(outFile, " > ");
    else
        fprintf(outFile, " %s ", node->name);
    generateCodefromAST(node->right, outFile);
    break;

case statement_node:
    generateCodefromAST(node->left, outFile);
    if (node->right != NULL)
        generateCodefromAST(node->right, outFile);
    break;

case compound_node:
    fprintf(outFile, " {\n");
    generateCodefromAST(node->left, outFile);
    fprintf(outFile, " }\n");
    break;

default:
    fprintf(stderr, "Unknown node type: %d\n", node->nodetype);
    break;
}
}

```

Compile.cpp

```

#include <Windows.h>
#include <stdio.h>
#include <string>
#include <fstream>

#define SCOPE_EXIT_CAT2(x, y) x##y
#define SCOPE_EXIT_CAT(x, y) SCOPE_EXIT_CAT2(x, y)
#define SCOPE_EXIT auto SCOPE_EXIT_CAT(scopeExit_, __COUNTER__) = Safe::MakeScopeExit() += [&]

namespace Safe
{
    template <typename F>
    class ScopeExit
    {
    public:
        explicit ScopeExit(A&& action) : _action(std::move(action)) {}
        ~ScopeExit() { _action(); }

        ScopeExit() = delete;
        ScopeExit(const ScopeExit&) = delete;
        ScopeExit& operator=(const ScopeExit&) = delete;
        ScopeExit(ScopeExit&&) = delete;
        ScopeExit& operator=(ScopeExit&&) = delete;
        ScopeExit(const A&) = delete;
        ScopeExit(A&) = delete;

    private:
        A _action;
    };

    struct MakeScopeExit
    {
    public:
        template <typename F>
        ScopeExit<F> operator+=(F&& f)
        {
            return ScopeExit<F>(std::forward<F>(f));
        }
    };
}

bool is_file_accessible(const char* file_path)
{
    std::ifstream file(file_path);
    return file.is_open();
}

void compile_to_exe(const char* source_file, const char* output_file)
{
    if (!is_file_accessible(source_file))
    {
        printf("Error: Source file %s is not accessible.\n", source_file);
        return;
    }

    wchar_t current_dir[MAX_PATH];
    if (!GetCurrentDirectoryW(MAX_PATH, current_dir))
    {
        printf("Error retrieving current directory. Error code: %lu\n", GetLastError());
        return;
    }

    //wprintf(L"CurrentDirectory: %s\n", current_dir);

    wchar_t command[512];
    _snwprintf_s(
        command,

```

```

std::size(command),
L"compiler\\MinGW-master\\MinGW\\bin\\gcc.exe -std=c11 \"%s\\%S\" -o \"%s\\%S\"",
current_dir, source_file, current_dir, output_file
);

//wprintf(L"Command: %s\n", command);

STARTUPINFO si = { 0 };
PROCESS_INFORMATION pi = { 0 };
si.cb = sizeof(si);

if (CreateProcessW(
    NULL,
    command,
    NULL,
    NULL,
    FALSE,
    0,
    NULL,
    current_dir,
    &si,
    &pi
))
{
    WaitForSingleObject(pi.hProcess, INFINITE);

    DWORD exit_code;
    GetExitCodeProcess(pi.hProcess, &exit_code);

    if (exit_code == 0)
    {
        wprintf(L"File successfully compiled into %s\\%S\n", current_dir, output_file);
    }
    else
    {
        wprintf(L"Compilation error for %s. Exit code: %lu\n", source_file, exit_code);
    }

    CloseHandle(pi.hProcess);
    CloseHandle(pi.hThread);
}
else
{
    DWORD error_code = GetLastError();
    wprintf(L"Failed to start compiler process. Error code: %lu\n", error_code);
}
}

```

Lexer.cpp

```

#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include "translator.h"
#include <locale>

// функція отримує лексеми з вхідного файлу F і записує їх у таблицю лексем TokenTable
// результат функції - кількість лексем
unsigned int GetTokens(FILE* F, Token TokenTable[], FILE* errFile)
{
    States state = Start;
    Token TempToken;
    // кількість лексем
    unsigned int NumberOfTokens = 0;
    char ch, buff[16];
    int line = 1;

    // читання першого символу з файлу
    ch = getc(F);

    // пошук лексем
    while (1)
    {
        switch (state)
        {
            // стан Start - початок виділення чергової лексеми
            // якщо поточний символ маленька літера, то переходимо до стану Letter
            // якщо поточний символ цифра, то переходимо до стану Digit
            // якщо поточний символ пробіл, символ табуляції або переходу на новий рядок, то переходимо до стану Separators
            // якщо поточний символ EOF (ознака кінця файлу), то переходимо до стану EndOfFile
            // якщо поточний символ відмінний від попередніх, то переходимо до стану Another

            case Start:
            {
                if (ch == EOF)
                    state = EndOfFile;

                else
                    if ((ch <= 'z' && ch >= 'a') || (ch <= 'Z' && ch >= 'A') || ch == '_' )
                        state = Letter;

                    else
                        if (ch <= '9' && ch >= '0')
                            state = Digit;

                        else
                            if (ch == '.' || ch == '\t' || ch == '\n')
                                state = Separators;

                            else
                                if (ch == '/')
                                    state = SComment;

                                else
                                    state = Another;

                                break;
            }

            // стан Finish - кінець виділення чергової лексеми і запис лексеми у таблицю лексем
            case Finish:
            {
                if (NumberOfTokens < MAX_TOKENS)
                {
                    TokenTable[NumberOfTokens++] = TempToken;
                    if (ch != EOF)
                        state = Start;

                    else
                        state = EndOfFile;
                }
                else
                {
                    printf("\n\t\ttoo many tokens !!!\n");
                    return NumberOfTokens - 1;
                }
                break;
            }
        }
    }
}

```

```

// стан EndOfFile - кінець файлу, можна завершувати пошук лексем
case EndOfFile:
{
    return NumberOfTokens;
}

// стан Letter - поточний символ - маленька літера, поточна лексема - ключове слово або ідентифікатор
case Letter:
{
    buff[0] = ch;
    int j = 1;

    ch =getc(F);

    while (((ch >= 'a' && ch <= 'z') || (ch >= 'A' && ch <= 'Z') ||
        (ch >= '0' && ch <= '9') || ch == '_' || ch == ':' || ch == '-') && j < 15)
    {
        buff[j++] = ch;
        ch =getc(F);
    }
    buff[j] = '\0';

    TypeOfTokens temp_type = Unknown;

    if (!strcmp(buf, "END"))
    {
        char next_buf[16];
        int next_j = 0;

        while (ch == ' ' || ch == '\t')
        {
            ch =getc(F);
        }

        while (((ch >= 'a' && ch <= 'z') || (ch >= 'A' && ch <= 'Z')) && next_j < 15)
        {
            next_buf[next_j++] = ch;
            ch =getc(F);
        }
        next_buf[next_j] = '\0';

        if (!strcmp(next_buf, "WHILE"))
        {
            temp_type = End;
            strcpy_s(TempToken.name, buf);
            TempToken.type = temp_type;
            TempToken.value = 0;
            TempToken.line = line;
            TokenTable[NumberOfTokens++] = TempToken;

            temp_type = While;
            strcpy_s(TempToken.name, next_buf);
            TempToken.type = temp_type;
            TempToken.value = 0;
            TempToken.line = line;
            TokenTable[NumberOfTokens++] = TempToken;

            state = Start;
            break;
        }
    }
    else if (!strcmp(buf, "PROGRAM"))
    {
        char next_buf[32];
        int next_j = 0;

        while (ch == ' ' || ch == '\t')
        {
            ch =getc(F);
        }

        while (((ch >= 'a' && ch <= 'z') || (ch >= 'A' && ch <= 'Z') || (ch >= '0' && ch <= '9' || ch == ';') && next_j < 31)
        {
            next_buf[next_j++] = ch;
            ch =getc(F);
        }
        next_buf[next_j] = '\0';

        if (next_buf[strlen(next_buf) - 1] == ';')
        {
            temp_type = Mainprogram;
            strcpy_s(TempToken.name, buf);
            TempToken.type = temp_type;
            TempToken.value = 0;
            TempToken.line = line;
            TokenTable[NumberOfTokens++] = TempToken;

            next_buf[strlen(next_buf) - 1] = '\0';
            temp_type = ProgramName;
            strcpy_s(TempToken.name, next_buf);
            TempToken.type = temp_type;
            TempToken.value = 0;
            TempToken.line = line;
            TokenTable[NumberOfTokens++] = TempToken;

            state = Start;
            break;
        }
    }

    else if (!strcmp(buf, "START")) temp_type = StartProgram;
    else if (!strcmp(buf, "VARIABLE")) temp_type = Variable;
    else if (!strcmp(buf, "INTEGER32")) temp_type = Type;
    else if (!strcmp(buf, "STOP")) temp_type = EndProgram;
    else if (!strcmp(buf, "GET")) temp_type = Input;
    else if (!strcmp(buf, "PUT")) temp_type = Output;

    else if (!strcmp(buf, "DIV")) temp_type = Div;
    else if (!strcmp(buf, "MOD")) temp_type = Mod;

    else if (!strcmp(buf, "AND")) temp_type = And;
    else if (!strcmp(buf, "OR")) temp_type = Or;

    else if (!strcmp(buf, "IF")) temp_type = If;
    else if (!strcmp(buf, "ELSE")) temp_type = Else;
    else if (!strcmp(buf, "GOTO")) temp_type = Goto;
    else if (!strcmp(buf, "FOR")) temp_type = For;
    else if (!strcmp(buf, "TO")) temp_type = To;
    else if (!strcmp(buf, "DOWNTO")) temp_type = DownTo;
    else if (!strcmp(buf, "DO")) temp_type = Do;
    else if (!strcmp(buf, "EXIT")) temp_type = Exit;
    else if (!strcmp(buf, "WHILE")) temp_type = While;

```

```

else if (!strcmp(buf, "CONTINUE")) temp_type = Continue;
else if (!strcmp(buf, "REPEAT")) temp_type = Repeat;
else if (!strcmp(buf, "UNTIL")) temp_type = Until;
if (temp_type == Unknown && TokenTable[NumberOfTokens - 1].type == Goto)
{
    temp_type = Identifier;
}
else if (buf[strlen(buf) - 1] == ':')
{
    buf[strlen(buf) - 1] = '\0';
    temp_type = Label;
}
else if ((buf[0] >= 'A' && buf[0] <= 'Z') && (strlen(buf) == 12))
{
    bool valid = true;

    for (int i = 1; i < 12; i++)
    {
        if (!(buf[i] >= 'A' && buf[i] <= 'Z') && !(buf[i] >= '0' && buf[i] <= '9'))
        {
            valid = false;
            break;
        }
    }
    if (valid)
    {
        temp_type = Identifier;
    }
}
strcpy_s(TempToken.name, buf);
TempToken.type = temp_type;
TempToken.value = 0;
TempToken.line = line;
if (temp_type == Unknown)
{
    fprintf(stderr, "Lexical Error: line %d, lexem %s is Unknown\n", line, TempToken.name);
}
state = Finish;
break;
}

case Digit:
{
    buf[0] = ch;
    int j = 1;

    ch = getc(F);

    while ((ch <= '9' && ch >= '0') && j < 15)
    {
        buf[j++] = ch;
        ch = getc(F);
    }
    buf[j] = '\0';

    strcpy_s(TempToken.name, buf);
    TempToken.type = Number;
    TempToken.value = atoi(buf);
    TempToken.line = line;
    state = Finish;
    break;
}

case Separators:
{
    if (ch == '\n')
        line++;

    ch = getc(F);

    state = Start;
    break;
}

case SComment:
{
    ch = getc(F);
    if (ch == '/')
        state = Comment;

    break;
}

case Comment:
{
    while (ch != '\n' && ch != EOF)
    {
        ch = getc(F);
    }
    if (ch == EOF)
    {
        state = EndOfFile;
        break;
    }
    state = Start;
    break;
}

case Another:
{
    switch (ch)
    {
        case '(':
        {
            strcpy_s(TempToken.name, "(");
            TempToken.type = LBracket;
            TempToken.value = 0;
            TempToken.line = line;
            ch = getc(F);
            state = Finish;
            break;
        }

        case ')':
        {
            strcpy_s(TempToken.name, ")");
            TempToken.type = RBracket;
            TempToken.value = 0;
            TempToken.line = line;
            ch = getc(F);
            state = Finish;
            break;
        }
    }
}

```

```

    }

    case ';':
    {
        strcpy_s(TempToken.name, "-");
        TempToken.type = Semicolon;
        TempToken.value = 0;
        TempToken.line = line;
        ch = getc(F);
        state = Finish;
        break;
    }

    case ',':
    {
        strcpy_s(TempToken.name, ",");
        TempToken.type = Comma;
        TempToken.value = 0;
        TempToken.line = line;
        ch = getc(F);
        state = Finish;
        break;
    }

    case ':':
    {
        char next = getc(F);

        strcpy_s(TempToken.name, ":");
        TempToken.type = Colon;
        ungetc(next, F);

        TempToken.value = 0;
        TempToken.line = line;
        ch = getc(F);
        state = Finish;
        break;
    }

    case '+':
    {
        strcpy_s(TempToken.name, "+");
        TempToken.type = Add;
        TempToken.value = 0;
        TempToken.line = line;
        ch = getc(F);
        state = Finish;
        break;
    }

    case '-':
    {
        strcpy_s(TempToken.name, "-");
        TempToken.type = Sub;
        TempToken.value = 0;
        TempToken.line = line;
        ch = getc(F);
        state = Finish;
        break;
    }

    case '*':
    {
        strcpy_s(TempToken.name, "*");
        TempToken.type = Mul;
        TempToken.value = 0;
        TempToken.line = line;
        ch = getc(F);
        state = Finish;
        break;
    }

    case '!':
    {
        strcpy_s(TempToken.name, "!");
        TempToken.type = Not;
        TempToken.value = 0;
        TempToken.line = line;
        ch = getc(F);
        state = Finish;
        break;
    }

    case '<':
    {
        ch = getc(F);
        if (ch == '=')
        {
            ch = getc(F);
            if (ch == '=')
            {
                strcpy_s(TempToken.name, "<==");
                TempToken.type = Assign;
                TempToken.value = 0;
                TempToken.line = line;
                ch = getc(F);
                state = Finish;
            }
            else
            {
                strcpy_s(TempToken.name, "<=");
                TempToken.type = Less;
                TempToken.value = 0;
                TempToken.line = line;
                state = Finish;
            }
        }
        else if (ch == '>')
        {
            strcpy_s(TempToken.name, "<>");
            TempToken.type = NotEquality;
            TempToken.value = 0;
            TempToken.line = line;
            ch = getc(F);
            state = Finish;
        }
        break;
    }

    case '>':
    {

```



```

char type_tokens[16];
printf("\n\n-----\n");
printf("          TOKEN TABLE          |\n");
printf("-----\n");
printf("| line number | token | value | token code | type of token |\n");
printf("-----\n");
for (unsigned int i = 0; i < TokensNum; i++)
{
    switch (TokenTable[i].type)
    {
        case Mainprogram:
            strcpy_s(type_tokens, "MainProgram");
            break;
        case StartProgram:
            strcpy_s(type_tokens, "StartProgram");
            break;
        case Variable:
            strcpy_s(type_tokens, "Variable");
            break;
        case Type:
            strcpy_s(type_tokens, "Integer");
            break;
        case Identifier:
            strcpy_s(type_tokens, "Identifier");
            break;
        case EndProgram:
            strcpy_s(type_tokens, "EndProgram");
            break;
        case Input:
            strcpy_s(type_tokens, "Input");
            break;
        case Output:
            strcpy_s(type_tokens, "Output");
            break;
        case If:
            strcpy_s(type_tokens, "If");
            break;
        case Else:
            strcpy_s(type_tokens, "Else");
            break;
        case Assign:
            strcpy_s(type_tokens, "Assign");
            break;
        case Add:
            strcpy_s(type_tokens, "Add");
            break;
        case Sub:
            strcpy_s(type_tokens, "Sub");
            break;
        case Mul:
            strcpy_s(type_tokens, "Mul");
            break;
        case Div:
            strcpy_s(type_tokens, "Div");
            break;
        case Mod:
            strcpy_s(type_tokens, "Mod");
            break;
        case Equality:
            strcpy_s(type_tokens, "Equality");
            break;
        case NotEquality:
            strcpy_s(type_tokens, "NotEquality");
            break;
        case Greater:
            strcpy_s(type_tokens, "Greater");
            break;
        case Less:
            strcpy_s(type_tokens, "Less");
            break;
    }
}

```

```

                strcpy_s(type_tokens, "Less");
                break;
            case Not:
                strcpy_s(type_tokens, "Not");
                break;
            case And:
                strcpy_s(type_tokens, "And");
                break;
            case Or:
                strcpy_s(type_tokens, "Or");
                break;
            case LBraket:
                strcpy_s(type_tokens, "LBraket");
                break;
            case RBraket:
                strcpy_s(type_tokens, "RBraket");
                break;
            case Number:
                strcpy_s(type_tokens, "Number");
                break;
            case Semicolon:
                strcpy_s(type_tokens, "Semicolon");
                break;
            case Comma:
                strcpy_s(type_tokens, "Comma");
                break;
            case Goto:
                strcpy_s(type_tokens, "Goto");
                break;
            case For:
                strcpy_s(type_tokens, "For");
                break;
            case To:
                strcpy_s(type_tokens, "To");
                break;
            case DownTo:
                strcpy_s(type_tokens, "DownTo");
                break;
            case Do:
                strcpy_s(type_tokens, "Do");
                break;
            case While:
                strcpy_s(type_tokens, "While");
                break;
            case Exit:
                strcpy_s(type_tokens, "Exit");
                break;
            case Continue:
                strcpy_s(type_tokens, "Continue");
                break;
            case End:
                strcpy_s(type_tokens, "End");
                break;
            case Repeat:
                strcpy_s(type_tokens, "Repeat");
                break;
            case Until:
                strcpy_s(type_tokens, "Until");
                break;
            case Label:
                strcpy_s(type_tokens, "Label");
                break;
            case Unknown:
                strcpy_s(type_tokens, "Unknown");
                break;
            default:
                strcpy_s(type_tokens, "Unknown");
                break;
        }

        printf("\n%12d %16s %11d %11d | %-13s |\n",
            TokenTable[i].line,
            TokenTable[i].name,
            TokenTable[i].value,
            TokenTable[i].type,
            type_tokens);

        printf("-----");
    }
    printf("\n");
}

void PrintTokensToFile(char* FileName, Token TokenTable[], unsigned int TokensNum)
{
    FILE* F;
    if ((fopen_s(&F, FileName, "wt")) != 0)
    {
        printf("Error: Can not create file: %s\n", FileName);
        return;
    }

    char type_tokens[16];
    fprintf(F, "-----\n");
    fprintf(F, "          TOKEN TABLE          |\n");
    fprintf(F, "-----\n");
    fprintf(F, "line number | token | value | token code | type of token |\n");
    fprintf(F, "-----");
    for (unsigned int i = 0; i < TokensNum; i++)
    {
        switch (TokenTable[i].type)
        {
            case Mainprogram:
                strcpy_s(type_tokens, "MainProgram");
                break;
            case StartProgram:
                strcpy_s(type_tokens, "StartProgram");
                break;
            case Variable:
                strcpy_s(type_tokens, "Variable");
                break;
            case Type:
                strcpy_s(type_tokens, "Integer");
                break;
            case Identifier:
                strcpy_s(type_tokens, "Identifier");
                break;
            case EndProgram:
                strcpy_s(type_tokens, "EndProgram");
                break;
            case Input:
                strcpy_s(type_tokens, "Input");
                break;
            case Output:
                strcpy_s(type_tokens, "Output");
                break;
            case If:

```

```

        strcpy_s(type_tokens, "If");
        break;
    case Else:
        strcpy_s(type_tokens, "Else");
        break;
    case Assign:
        strcpy_s(type_tokens, "Assign");
        break;
    case Add:
        strcpy_s(type_tokens, "Add");
        break;
    case Sub:
        strcpy_s(type_tokens, "Sub");
        break;
    case Mul:
        strcpy_s(type_tokens, "Mul");
        break;
    case Div:
        strcpy_s(type_tokens, "Div");
        break;
    case Mod:
        strcpy_s(type_tokens, "Mod");
        break;
    case Equality:
        strcpy_s(type_tokens, "Equality");
        break;
    case NotEquality:
        strcpy_s(type_tokens, "NotEquality");
        break;
    case Greater:
        strcpy_s(type_tokens, "Greater");
        break;
    case Less:
        strcpy_s(type_tokens, "Less");
        break;
    case Not:
        strcpy_s(type_tokens, "Not");
        break;
    case And:
        strcpy_s(type_tokens, "And");
        break;
    case Or:
        strcpy_s(type_tokens, "Or");
        break;
    case LBracket:
        strcpy_s(type_tokens, "LBracket");
        break;
    case RBracket:
        strcpy_s(type_tokens, "RBracket");
        break;
    case Number:
        strcpy_s(type_tokens, "Number");
        break;
    case Semicolon:
        strcpy_s(type_tokens, "Semicolon");
        break;
    case Comma:
        strcpy_s(type_tokens, "Comma");
        break;
    case Goto:
        strcpy_s(type_tokens, "Goto");
        break;
    case For:
        strcpy_s(type_tokens, "For");
        break;
    case To:
        strcpy_s(type_tokens, "To");
        break;
    case DownTo:
        strcpy_s(type_tokens, "DownTo");
        break;
    case Do:
        strcpy_s(type_tokens, "Do");
        break;
    case While:
        strcpy_s(type_tokens, "While");
        break;
    case Exit:
        strcpy_s(type_tokens, "Exit");
        break;
    case Continue:
        strcpy_s(type_tokens, "Continue");
        break;
    case End:
        strcpy_s(type_tokens, "End");
        break;
    case Repeat:
        strcpy_s(type_tokens, "Repeat");
        break;
    case Until:
        strcpy_s(type_tokens, "Until");
        break;
    case Label:
        strcpy_s(type_tokens, "Label");
        break;
    case Unknown:
    default:
        strcpy_s(type_tokens, "Unknown");
        break;
    }

    fprintf(F, "\n%12d %16s %11d %11d | %13s \n",
            TokenTable[i].line,
            TokenTable[i].name,
            TokenTable[i].value,
            TokenTable[i].type,
            type_tokens);

    fprintf(F, "-----");
}
fclose(F);
}

```

main.cpp

```

#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#include "translator.h"

```

// таблица лексем

```

Token* TokenTable;
// кількість лексем
unsigned int TokensNum;

// таблиця ідентифікаторів
Id* IdTable;
// кількість ідентифікаторів
unsigned int IdNum;

// Function to validate file extension
int hasValidExtension(const char* fileName, const char* extension)
{
    const char* dot = strchr(fileName, '.');
    if (!dot || dot == fileName) return 0; // No extension found
    return strcmp(dot, extension) == 0;
}

int main(int argc, char* argv[])
{
    // виділення пам'яті під таблицю лексем
    TokenTable = new Token[MAX_TOKENS];

    // виділення пам'яті під таблицю ідентифікаторів
    IdTable = new Id[MAX_IDENTIFIER];

    char InputFile[32] = "";

    FILE* InFile;

    if (argc != 2)
    {
        printf("Input file name: ");
        gets_s(InputFile);
    }
    else
    {
        strcpy_s(InputFile, argv[1]);
    }

    // Check if the input file has the correct extension
    if (!hasValidExtension(InputFile, ".h04"))
    {
        printf("Error: Input file has invalid extension.\n");
        return 1;
    }

    if ((fopen_s(&InFile, InputFile, "rt") != 0))
    {
        printf("Error: Cannot open file: %s\n", InputFile);
        return 1;
    }

    char NameFile[32] = "";
    int i = 0;
    while (InputFile[i] != '\0' && InputFile[i] != '\n')
    {
        NameFile[i] = InputFile[i];
        i++;
    }
    NameFile[i] = '\0';

    char TokenFile[32];
    strcpy_s(TokenFile, NameFile);
    strcat_s(TokenFile, ".tokens");

    char ErrFile[32];
    strcpy_s(ErrFile, NameFile);
    strcat_s(ErrFile, "_errors.txt");

    FILE* errFile;
    if ((fopen_s(&errFile, ErrFile, "w") != 0))
    {
        printf("Error: Cannot open file for writing: %s\n", ErrFile);
        return 1;
    }

    TokensNum = GetTokens(InFile, TokenTable, errFile);

    PrintTokensToFile(TokenFile, TokenTable, TokensNum);
    fclose(InFile);

    printf("\nLexical analysis completed: %d tokens. List of tokens in the file %s\n", TokensNum, TokenFile);
    printf("\nList of errors in the file %s\n", ErrFile);

    Parser(errFile);
    fclose(errFile);
    ASTNode* ASTTree = ParserAST();

    char AST[32];
    strcpy_s(AST, NameFile);
    strcat_s(AST, ".ast");
    // Open output file
    FILE* ASTFile;
    fopen_s(&ASTFile, AST, "w");
    if (!ASTFile)
    {
        printf("Failed to open output file.\n");
        exit(1);
    }
    PrintASTToFile(ASTTree, 0, ASTFile);
    printf("\nAST has been created and written to %s.\n", AST);

    char OutputFile[32];
    strcpy_s(OutputFile, NameFile);
    strcat_s(OutputFile, ".c");

    FILE* outFile;
    fopen_s(&outFile, OutputFile, "w");
    if (!outFile)
    {
        printf("Failed to open output file.\n");
        exit(1);
    }
    // генерація вихідного C коду
    generateCCode(outFile);
    printf("\nC code has been generated and written to %s.\n", OutputFile);

    fclose(outFile);

    fopen_s(&outFile, OutputFile, "r");
    char ExecutableFile[32];
    strcpy_s(ExecutableFile, NameFile);

```

```

    strcat_s(ExecutableFile, ".exe");
    compile_to_exe(OutputStream, ExecutableFile);

    char OutputStreamFromAST[32];
    strcpy_s(OutputStreamFromAST, NameFile);
    strcat_s(OutputStreamFromAST, "_fromAST.c");

    FILE* outFileFromAST;
    fopen_s(&outFileFromAST, OutputStreamFromAST, "w");
    if (!outFileFromAST)
    {
        printf("Failed to open output file.\n");
        exit(1);
    }
    generateCodeFromAST(ASTTree, outFileFromAST);
    printf("\nC code has been generated and written to %s.\n", OutputStreamFromAST);

    fclose(outFileFromAST);

    fopen_s(&outFileFromAST, OutputStreamFromAST, "r");
    char ExecutableFileFromAST[32];
    strcpy_s(ExecutableFileFromAST, NameFile);
    strcat_s(ExecutableFileFromAST, "_fromAST.exe");
    compile_to_exe(OutputStreamFromAST, ExecutableFileFromAST);

    // Close the file
    _fcloseall();

    destroyTree(ASTTree);

    delete[] TokenTable;
    delete[] IdTable;

    return 0;
}

```

parser.cpp

```

#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#include "translator.h"
#include <iostream>
#include <string>

// таблица лексем
extern Token* TokenTable;
// количество лексем
extern unsigned int TokensNum;

// таблица идентификаторов
extern Id* IdTable;
// количество идентификаторов
extern unsigned int IdNum;

static int pos = 0;

// набор функций для рекурсивного спуска
// на каждое правило - одна функция
void program(FILE* errFile);
void variable_declaration(FILE* errFile);
void variable_list(FILE* errFile);
void program_body(FILE* errFile);
void statement(FILE* errFile);
void assignment(FILE* errFile);
void arithmetic_expression(FILE* errFile);
void term(FILE* errFile);
void factor(FILE* errFile);
void input(FILE* errFile);
void output(FILE* errFile);
void conditional(FILE* errFile);

void goto_statement(FILE* errFile);
void label_statement(FILE* errFile);
void for_to_do(FILE* errFile);
void for_downto_do(FILE* errFile);
void while_statement(FILE* errFile);
void repeat_until(FILE* errFile);

void logical_expression(FILE* errFile);
void and_expression(FILE* errFile);
void comparison(FILE* errFile);
void compound_statement(FILE* errFile);
std::string TokenTypeToString(TokenType type);

unsigned int Identification(Id IdTable[], Token TokenTable[], unsigned int tokenCount, FILE* errFile);

void Parser(FILE* errFile)
{
    program(errFile);
    fprintf(errFile, "\nNo errors found.\n");
}

void match(TokenType expectedType, FILE* errFile)
{
    if (TokenTable[pos].type == expectedType)
        pos++;
    else
    {
        fprintf(errFile, "\nSyntax error in line %d : another type of lexeme was expected.\n", TokenTable[pos].line);
        fprintf(errFile, "\nSyntax error: type %s\n", TokenTypeToString(TokenTable[pos].type).c_str());
        fprintf(errFile, "Expected Type: %s ", TokenTypeToString(expectedType).c_str());
        exit(10);
    }
}

void program(FILE* errFile)
{
    match(BackProgram, errFile);
    match(Mainprogram, errFile);
    match(ProgramName, errFile);
    match(StartProgram, errFile);
    match(Variable, errFile);
    variable_declaration(errFile);
    match(Semicolon, errFile);
    program_body(errFile);
    match(EndProgram, errFile);
}

void variable_declaration(FILE* errFile)

```

```

{
    if (TokenTable[pos].type == Type)
    {
        pos++;
        variable_list(errFile);
    }
}

void variable_list(FILE* errFile)
{
    match(Identifier, errFile);
    while (TokenTable[pos].type == Comma)
    {
        pos++;
        match(Identifier, errFile);
    }
}

void program_body(FILE* errFile)
{
    do
    {
        statement(errFile);
    } while (TokenTable[pos].type != EndProgram);
}

void statement(FILE* errFile)
{
    switch (TokenTable[pos].type)
    {
        case Input: input(errFile); break;
        case Output: output(errFile); break;
        case IF: conditional(errFile); break;
        case Label: label_statement(errFile); break;
        case StartProgram: compound_statement(errFile); break;
        case Goto: goto_statement(errFile); break;
        case For:
        {
            int temp_pos = pos + 1;
            while (TokenTable[temp_pos].type != To && TokenTable[temp_pos].type != DownTo && temp_pos < TokensNum)
            {
                temp_pos++;
            }
            if (TokenTable[temp_pos].type == To)
            {
                for_to_do(errFile);
            }
            else if (TokenTable[temp_pos].type == DownTo)
            {
                for_downto_do(errFile);
            }
            else
            {
                printf("Error: Expected 'To' or 'DownTo' after 'For'\n");
            }
            break;
        }
        case While: while_statement(errFile); break;
        case Exit: pos += 2; break;
        case Continue: pos += 2; break;
        case Repeat: repeat_until(errFile); break;
        default: assignment(errFile); break;
    }
}

void assignment(FILE* errFile)
{
    match(Identifier, errFile);
    match(Assign, errFile);
    arithmetic_expression(errFile);
    match(Semicolon, errFile);
}

void arithmetic_expression(FILE* errFile)
{
    term(errFile);
    while (TokenTable[pos].type == Add || TokenTable[pos].type == Sub)
    {
        pos++;
        term(errFile);
    }
}

void term(FILE* errFile)
{
    factor(errFile);
    while (TokenTable[pos].type == Mul || TokenTable[pos].type == Div || TokenTable[pos].type == Mod)
    {
        pos++;
        factor(errFile);
    }
}

void factor(FILE* errFile)
{
    if (TokenTable[pos].type == Identifier)
    {
        match(Identifier, errFile);
    }
    else
    {
        if (TokenTable[pos].type == Number)
        {
            match(Number, errFile);
        }
        else
        {
            if (TokenTable[pos].type == LBraket)
            {
                match(LBraket, errFile);
                arithmetic_expression(errFile);
                match(RBraket, errFile);
            }
            else
            {
                printf("\nSyntax error in line %d : A multiplier was expected.\n", TokenTable[pos].line);
                exit(11);
            }
        }
    }
}

void input(FILE* errFile)
{
    match(Input, errFile);
    match(Identifier, errFile);
}

```

```

    match(Semicolon, errFile);
}

void output(FILE* errFile)
{
    match(Output, errFile);
    if (TokenTable[pos].type == Sub)
    {
        pos++;
        if (TokenTable[pos].type == Number)
        {
            match(Number, errFile);
        }
    }
    else
    {
        arithmetic_expression(errFile);
    }
    match(Semicolon, errFile);
}

void conditional(FILE* errFile)
{
    match(If, errFile);
    logical_expression(errFile);
    statement(errFile);
    if (TokenTable[pos].type == Else)
    {
        pos++;
        statement(errFile);
    }
}

void goto_statement(FILE* errFile)
{
    match(Goto, errFile);
    if (TokenTable[pos].type == Identifier)
    {
        pos++;
        match(Semicolon, errFile);
    }
    else
    {
        printf("Error: Expected a label after 'goto' at line %d.\n", TokenTable[pos].line);
        exit(1);
    }
}

void label_statement(FILE* errFile)
{
    match(Label, errFile);
}

void for_to_do(FILE* errFile)
{
    match(For, errFile);
    match(Identifier, errFile);
    match(Assign, errFile);
    arithmetic_expression(errFile);
    match(To, errFile);
    arithmetic_expression(errFile);
    match(Do, errFile);
    statement(errFile);
}

void for_downto_do(FILE* errFile)
{
    match(For, errFile);
    match(Identifier, errFile);
    match(Assign, errFile);
    arithmetic_expression(errFile);
    match(DownTo, errFile);
    arithmetic_expression(errFile);
    match(Do, errFile);
    statement(errFile);
}

void while_statement(FILE* errFile)
{
    match(While, errFile);
    logical_expression(errFile);

    while (1)
    {
        if (TokenTable[pos].type == End)
        {
            pos++;
            match(While, errFile);
            break;
        }
        else
        {
            statement(errFile);
            if (TokenTable[pos].type == Semicolon)
            {
                pos++;
            }
        }
    }
}

void repeat_until(FILE* errFile)
{
    match(Repeat, errFile);
    statement(errFile);
    match(Until, errFile);
    logical_expression(errFile);
}

void logical_expression(FILE* errFile)
{
    and_expression(errFile);
    while (TokenTable[pos].type == Or)
    {
        pos++;
        and_expression(errFile);
    }
}

```

```

void and_expression(FILE* errFile)
{
    comparison(errFile);
    while (TokenTable[pos].type == And)
    {
        pos++;
        comparison(errFile);
    }
}

void comparison(FILE* errFile)
{
    if (TokenTable[pos].type == Not)
    {
        pos++;
        match(LBraket, errFile);
        logical_expression(errFile);
        match(RBraket, errFile);
    }
    else
    {
        if (TokenTable[pos].type == LBraket)
        {
            pos++;
            logical_expression(errFile);
            match(RBraket, errFile);
        }
        else
        {
            arithmetic_expression(errFile);
            if (TokenTable[pos].type == Greater || TokenTable[pos].type == Less ||
                TokenTable[pos].type == Equality || TokenTable[pos].type == NotEquality)
            {
                pos++;
                arithmetic_expression(errFile);
            }
            else
            {
                fprintf(errFile, "\nSyntax error in line %d : A comparison operation is expected.\n", TokenTable[pos].line);
                exit(12);
            }
        }
    }
}

void compound_statement(FILE* errFile)
{
    match(StartProgram, errFile);
    program_body(errFile);
    match(EndProgram, errFile);
}

unsigned int Identification(Id IdTable[], Token TokenTable[], unsigned int tokenCount, FILE* errFile)
{
    unsigned int idCount = 0;
    unsigned int i = 0;

    while (TokenTable[i++].type != Variable);

    if (TokenTable[i++].type == Type)
    {
        while (TokenTable[i].type != Semicolon)
        {
            if (TokenTable[i].type == Identifier)
            {
                int yes = 0;
                for (unsigned int j = 0; j < idCount; j++)
                {
                    if (!strcmp(TokenTable[i].name, IdTable[j].name))
                    {
                        yes = 1;
                        break;
                    }
                }
                if (yes == 1)
                {
                    printf("Identifier \"%s\" is already declared !\n", TokenTable[i].name);
                    return idCount;
                }

                if (idCount < MAX_IDENTIFIER)
                {
                    strcpy_s(IdTable[idCount++].name, TokenTable[i++].name);
                }
                else
                {
                    printf("\nToo many identifiers !\n");
                    return idCount;
                }
            }
            else
            {
                i++;
            }
        }
    }

    for (; i < tokenCount; i++)
    {
        if (TokenTable[i].type == Identifier && TokenTable[i + 1].type != Colon)
        {
            int yes = 0;
            for (unsigned int j = 0; j < idCount; j++)
            {
                if (!strcmp(TokenTable[i].name, IdTable[j].name))
                {
                    yes = 1;
                    break;
                }
            }
            if (yes == 0)
            {
                if (idCount < MAX_IDENTIFIER)
                {
                    strcpy_s(IdTable[idCount++].name, TokenTable[i].name);
                }
                else
                {
                    printf("\nToo many identifiers!\n");
                    return idCount;
                }
            }
        }
    }
}

```



```

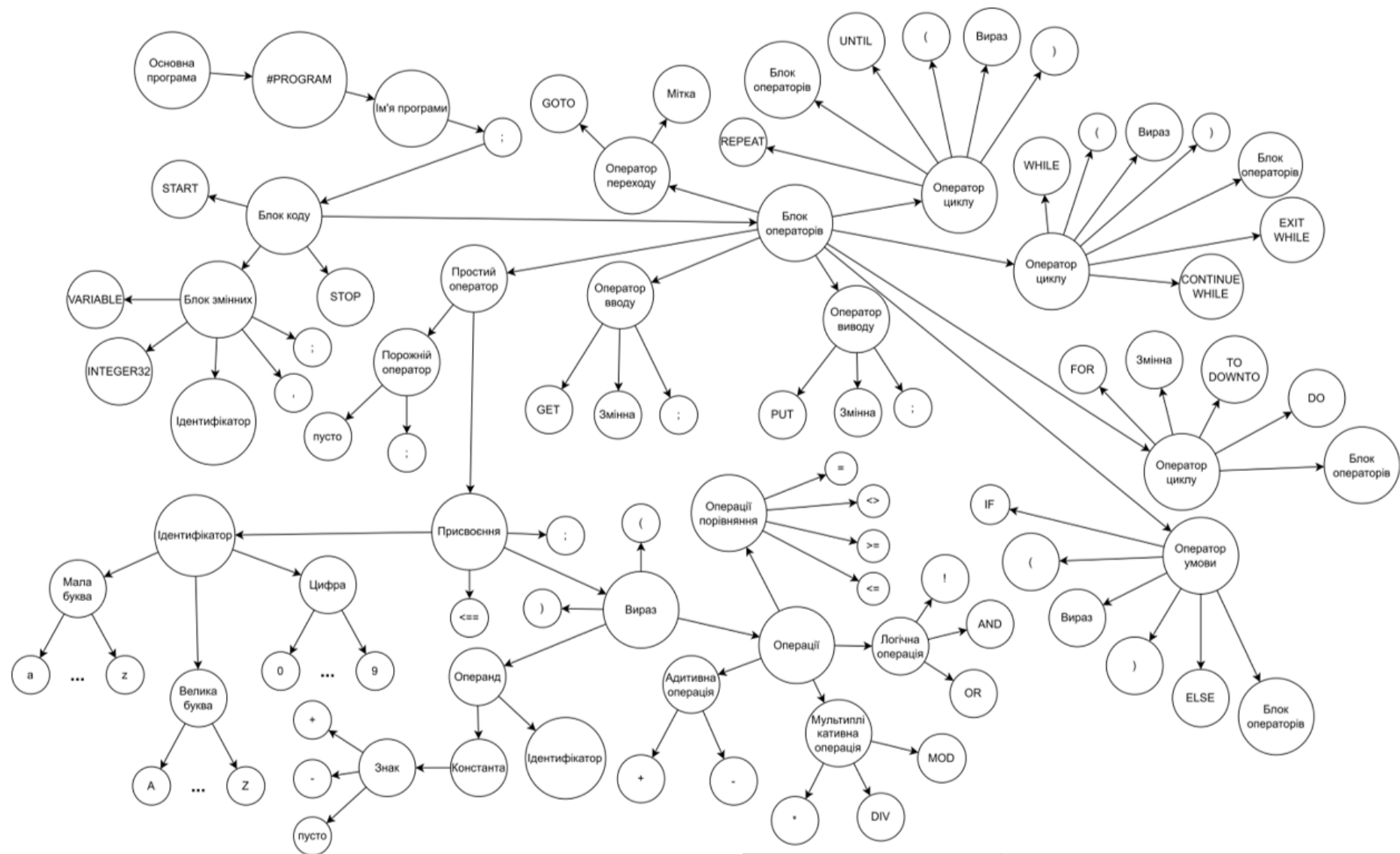
    }

    return idCount;
}

std::string TokenTypeToString(TokenType type)
{
    switch (type)
    {
        case Mainprogram: return "Mainprogram";
        case StartProgram: return "StartProgram";
        case Variable: return "Variable";
        case Type: return "Type";
        case EndProgram: return "EndProgram";
        case Input: return "Input";
        case Output: return "Output";
        case If: return "If";
        case Else: return "Else";
        case Goto: return "Goto";
        case Label: return "Label";
        case For: return "For";
        case To: return "To";
        case DownTo: return "DownTo";
        case Do: return "Do";
        case While: return "While";
        case Exit: return "Exit";
        case Continue: return "Continue";
        case End: return "End";
        case Repeat: return "Repeat";
        case Until: return "Until";
        case Identifier: return "Identifier";
        case Number: return "Number";
        case Assign: return "Assign";
        case Add: return "Add";
        case Sub: return "Sub";
        case Mul: return "Mul";
        case Div: return "Div";
        case Mod: return "Mod";
        case Equality: return "Equality";
        case NotEquality: return "NotEquality";
        case Greater: return "Greater";
        case Less: return "Less";
        case Not: return "Not";
        case And: return "And";
        case Or: return "Or";
        case LBraket: return "LBraket";
        case RBraket: return "RBraket";
        case Semicolon: return "Semicolon";
        case Colon: return "Colon";
        case Comma: return "Comma";
        case Unknown: return "Unknown";
        default: return "InvalidType";
    }
}

```

Додаток Д. Креслення формату А3



Міністерство освіти і науки України					Курсовий проєкт			
					Розробка транслятора з вхідної мови програмування			
					Дерево граматичного розбору		Літера	Маса
							Н	Масштаб
							Аркуш	Аркушів 1
							НУ «ЛП», Каф. ЕОМ, гр. КІ-309	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Гаврилюк В. М.						
Керівник		Ковач Н. Б.						
Консульт.								
Н.контр.								
Зав.каф.								
Рецензент								

