МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

ФГБОУ ВПО «ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ОТЧЕТ
по реализации компилятора для подмножества языка Паскаль

Работу выполнили
студент гр. ПМИ-1,2
Захаров И.В. _____
«___» _____ 2021

Проверил
ассистент кафедры МОВС
Пономарев Ф.А. _____
«___» _____ 2021

Пермь 2021

СОДЕРЖАНИЕ

1 Постановка задачи

Глобальное задание: написать компилятор для подмножества языка Паскаль.

Задание разбивается на отдельные этапы:

1. Модуль ввода-вывода (8 баллов, оценивается совместно с лексическим анализатором).

2. Лексический анализатор (12 баллов, оценивается совместно с модулем ввода-вывода).

3. Синтаксический анализатор (12 баллов) с нейтрализацией синтаксических ошибок (8

баллов).

4. Семантический анализатор с нейтрализацией семантических ошибок (20 баллов).

5. Генерация кода (25 баллов).

Реализовать следующие разделы программы:

Основные разделы программы: раздел описания переменных, раздел операторов. Переменные стандартных типов (Boolean, integer, real, char). Числовые константы. Арифметическое выражение (в выражении допустимы только константы, переменные, операции +, –, *, / и скобки). Оператор присваивания и составной оператор.

Раздел описания типов. Выражение (полностью, включая арифметические, логические операции, сравнения и т.д., но только над константами и простыми переменными (не индексированные, не поля записи, не указатели)). Условный оператор (if). Оператор цикла с предусловием (while).

Описание функций. Вызов функции в выражении. Операторы циклов repeat, for.

Описание функций. Вызов функции в выражении. Оператор выбора (case).

Описание процедур. Операторы вызова процедуры, циклов repeat, for.

Описание процедур. Операторы вызова процедуры, выбора (case).

Пользовательские скалярные типы (перечислимый, интервальный). Описание

массивов. Индексированные переменные в выражении. Операторы циклов repeat, for.

Раздел описания констант. Пользовательские скалярные типы (перечислимый,

интервальный). Описание массивов. Индексированные переменные в выражении.

Описание записей (без вариантной части). Переменные - поля записи в выражении.

Операторы присоединения (with) , циклов repeat, for.

Описание записей (без вариантной части). Переменные - поля записи в выражении.

Операторы присоединения (with), выбора (case).

Интервальный тип. Описание массивов. Описание записей (без вариантной части).

Индексированные переменные и поля записи в выражении. Оператор присоединения

(with).

Интервальный тип. Описание массивов. Индексированные переменные в выражении.

Описание процедур. Оператор вызова процедуры.

Ссылочные типы данных. Описание функций. Вызов функции и указатели в выражении.

Раздел описания констант. Ссылочные типы данных. Указатели в выражениях.

Оператор выбора (case).

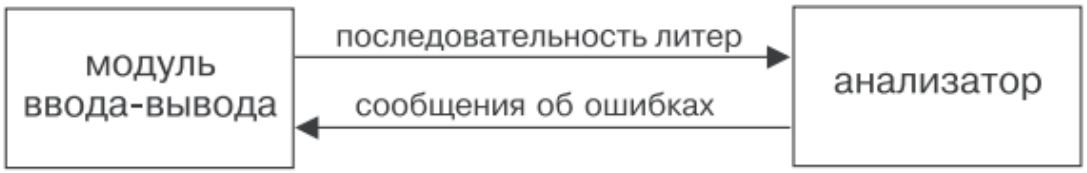
Описание записей. Переменные - поля записи в выражении. Оператор присоединения

(with).

2 Модуль ввода-вывода

2.1 Описание

Модуль ввода-вывода считывает последовательность литер исходной программы с внешнего устройства и передает их анализатору. Анализатор проверяет, удовлетворяет ли эта последовательность литер правилам описания языка, и формирует(в случае необходимости) сообщения об ошибках. Такое взаимодействие между модулем ввода-вывода и анализатором можно представить в виде схемы:



Для печати сообщений об ошибках будем хранить для каждого символа его позицию.

Сделаем ввод программы доступным в двух вариантах: по пути к файлу программы, либо же по строке в которой хранится код программы.

2.2 Проектирование

В модуле ввода-вывода должны быть определены следующие методы:

- Получение следующего символа
- Получение текущей позиции
- Генерация текста кода программы с указанием ошибок

Дополнительно для удобства создадим перечислимый тип OpenState – принимающий два состояния – открытие с помощью пути к файлу программы, либо же состояние, когда код программы был передан строкой.

Для поддержания текущей позиции заведем специальную переменную position.

В случае когда исходный код был получен с помощью файла, то текст кода с сгенерированными ошибками будем сохранять по тому же пути что и исходный, но с определенным суффиксом в конце имени файла. Для суффикса заведем строку-константу для удобства.

В функцию вывода ошибок передается указатель на экземпляр класса обработчика ошибок и вызывается соответствующая функция для получения всех ошибок.

После этого мы будем идти построчно, а затем посимвольно и сопоставлять текущую позицию с позициями ошибок(ошибки отсортированы по возрастанию позиции в которой находится ошибка).

Если в текущей позиции есть ошибка, то добавим ее в вектор ошибок текущей строки. После обработки всей строки дополнительно выведем информацию об ошибках и их позициях следующим образом:

Допустим у нас в строке нашлись следующие ошибки(позиции ошибок указаны относительно текущей строки): {2, ‘Вычисленное выражение имеет другой тип в отличие от переменной’}, {7, ‘Данную операцию нельзя применить к этим операндам’}

А текущая рассматриваемая строка такая: “*x := y + 1;*”

То текст с ошибками будет сгенерирован следующим образом:

x := y + 1;

^ ^

| *Данную операцию нельзя применить к этим операндам*

Вычисленное выражение имеет другой тип в отличие от переменной

2.3 Реализация

Ниже представлено описание класса и перечислимого типа в заголовочном файле IO_Module.h

```
enum OpenState {
	ByFile,
	ByString
};

class IO_Module
{
private:
	const string OUTPUT_PREFIX = "ANALYZED";
	string path_to_file;
	fstream input_stream;
	string code;

	OpenState open_state;

	int position = -1;

	string change_filename(string& path);
public:
	IO_Module() {};
	IO_Module(const string& input);

	char get_next_char();
	void write_errors(ErrorHandler* error_handler);
	int get_current_position();

	~IO_Module();
};
```

Определим все методы в файле-источнике IO_Module.cpp

```
IO_Module::IO_Module(const string& input)
{
```

```
	try
	{
		input_stream.open(input);
		path_to_file = input;
		open_state = ByFile;
	}
	catch (exception e)
	{
		code = input;
		open_state = ByString;
	}
}

IO_Module::~IO_Module()
{
	input_stream.close();
}

char IO_Module::get_next_char()
{
	position++;

	char c;
	if (input_stream.is_open())
	{
		c = (char)input_stream.get();
	}
	else
	{
		if (position < code.size())
			c = code[position];
		else
			c = EOF;
	}

	if (c == EOF)
		input_stream.close();
	return c;
}

int IO_Module::get_current_position()
{
	return position;
}


void IO_Module::write_errors(ErrorHandler* error_handler)
{
	vector<Error*> errors = error_handler->get_errors();
	IO_Module* io_helper;

	string result;

	if (open_state == ByFile)
		io_helper = new IO_Module(path_to_file);
	else
		io_helper = new IO_Module(code);
```

```
	int current_error = 0;
	char c;
	do
	{
		// Построчно будем искать позиция с ошибками
		int current_position_in_line = 0;
		ErrorHandler* error_handler_in_line = new
ErrorHandler();

		string first_line;

		do
		{
			c = io_helper->get_next_char();

			// Если еще есть ошибки и на текущей позиции
есть ошибка, тогда добавим ее
			if (current_error < errors.size() &&
				errors[current_error]->position ==
io_helper->get_current_position())
			{
				error_handler_in_line-
>add_error(errors[current_error]->info, current_position_in_line);
				current_error++;
			}

			current_position_in_line++;
			first_line += (c == '\t' ? '\t' : ' ');
			result += (c == EOF ? '\n' : c);

		} while (c != EOF && c != '\n');

		vector<Error*> errors_in_line = error_handler_in_line-
>get_errors();

		int errors_count_in_line = errors_in_line.size();
		if (errors_count_in_line == 0) continue;
		// Если в строке были ошибки то создадим первую строку
типа:
		// ^		^		^
		// Указатели на позиции ошибок

		for (auto e : errors_in_line)
			first_line[e->position] = '^';

		first_line += '\n';
		result += first_line;

		for (int i = errors_count_in_line - 1; i >= 0; i--)
		{
			// Обрежем первую строку до нужной позиции,
т.к. на предыдущих итерациях мы уже обработали некоторые ошибки
			string line = first_line.substr(0,
errors_in_line[i]->position);
			// заменим на палочки, так красивее....
			for (int j = 0; j < line.size(); j++)
			{
				if (line[j] == '^')
```

```
                                line[j] = '|';
                        }

                        // текущая ошибка всегда в конце строки,
поэтому просто добавим описание ошибки в конец строки
                        line += errors_in_line[i]->info;
                        line += '\n';

                        result += line;
                }

                result += '\n';

                delete error_handler_in_line;
        } while (c != EOF);

        if (open_state == ByFile)
        {
                string path_to_result = change_filename(path_to_file);
                ofstream fout(path_to_result);
                fout << result;
                fout.close();
        }
        else
        {
                cout << result;
        }

        delete io_helper;
}

string IO_Module::change_filename(string& path)
{
        // попытаемся найти где начинается расширение
        string result;
        auto pos = path.rfind(".");

        if (pos == string::npos) // если у файла нет расширения
        {
                return path + OUTPUT_PREFIX;
        }

        result = path.substr(0, pos) + "_" + OUTPUT_PREFIX +
path.substr(pos);

        return result;
}
```

2.4 Тестирование

2.4.1 Создание из строки исходного кода

```
const string PATH_INPUT_FILE = "C:\\Users\\user\\pascal.txt";
IO_Module* io = new IO_Module(PATH_INPUT_FILE);
```

2.4.2 Создание из файла

```
const string SOURCE_CODE = "program test; var x:integer; begin x:=5;
end.";
```

```
IO_Module* io = new IO_Module(SOURCE_CODE);
```

2.4.3 Получение текущего символа, позиции

```
const string PATH_INPUT_FILE = "C:\\Users\\user\\pascal.txt";
IO_Module* io = new IO_Module(PATH_INPUT_FILE);
cout << io->get_next_char() << " - " << io->get_current_position()
<< endl;
```

2.4.4 Вывод сообщения об ошибке

```
const string SOURCE_CODE = "program test; var x:integer; begin y:=5;
end.";

ErrorHandler* error_handler = new ErrorHandler();
IO_Module* io = new IO_Module(SOURCE_CODE);

string error_text = "Переменная не была объявлена";
int error_position = 35;

error_handler->add_error(error_text, error_position);
io->write_errors(error_handler);
```

Вывод:

```
program test; var x:integer; begin y:=5; end.
                                   ^
                                   Переменная не была объявлена
```

3 Лексический анализатор

3.1 Описание

Лексический анализатор формирует так называемые токены, объекты, созданные на основе последовательности символов(т.е. определенных слов заложенных в компиялторе).

Было выбрана реализация при которой лексический анализатор получает на вход объект модуля ввода-вывода и строит с помощью него последовательность этих токенов.

3.2 Проектирование

В модуле лексического анализатора были определены следующие методы:

- Получение токена
- Функция проверки программы – говорит о том были ли обнаружены какие-либо ошибки на этапе лексического анализа
- Функция получения всех токенов исходной программы

В сам конструктор класса нашего модуля должны быть переданы указатель на модуль ввода-вывода и указатель на обработчик ошибок.

Главной функцией безусловно является функция получения очередного токена, поэтому опишем ее более подробно.

Пропускаем все пробелы, знаки табуляции, переводы на новую строку, они нам не нужны, запоминаем текущую позицию – это будет позицией нашего будущего, еще несформированного токена.

Сделаем вывод каким будет токен исходя из его первого символа:

- Если символ – число, то токеном будет являться численная константа
- Если символ – буква, то токеном является какое-либо ключевое слово, либо идентификатор, либо это булевская константа(true/false). Для определения является ли слово ключевым, либо булевской константой будем использовать хэш-таблицы для быстрого поиска соответсвия. Если соответствия не нашлось – то слово является идентификатором.
- Если символ – ‘, то это должна быть константа типа Char.
- Если символ – “, то это должна быть константа типа String.
- Иначе это какой-либо оператор, например присваивания, сложения и т.п.

Будем продолжать генерировать и сохранять токены до тех пор, пока не дойдем до конца файла.

Токены разделим на три типа – токен-оператор, токен-идентификатор, токен-константа. Каждый токен должен хранить позицию начала данного токена.

Создадим абстрактный класс токен и будем наследоваться от него во всех дочерних классах токен-оператор, токен-идентификатор, токен-константа.

Класс токен-константа будет классом шаблоном и хранить значение константы, то есть использовать template, так как константы в нашем случае могут быть пяти типов – Int, Double, Bool, Char и String.

Класс токен-идентификатор будет хранить имя идентификатора.

Класс токен-оператор будет хранить тип оператора.

3.3 Реализация

3.3.1 Лексический анализатор

Ниже представлено описание класса в заголовочном файле LexicalAnalyzer.h

```
class LexicalAnalyzer
{
public:
	IO_Module* io;
	ErrorHandler* error_handler;

	LexicalAnalyzer(IO_Module* _io, ErrorHandler*
_error_handler);

	bool check();
	vector<Token*> get_tokens();

	~LexicalAnalyzer();
private:
	Token* get_token();

	vector<Token*> tokens;
	int position = 0;
	char c;
};
```

В файле LexicalAnalyzer.cpp представлены определения этих методов:

```
LexicalAnalyzer::LexicalAnalyzer(IO_Module* _io, ErrorHandler*
_error_handler)
{
	error_handler = _error_handler;

	io = _io;
	c = io->get_next_char();
}

Token* LexicalAnalyzer::get_token()
{
	while (c == ' ' || c == '\n' || c == '\r' || c == '\t')
		c = io->get_next_char();

	position = io->get_current_position();

	if (c == EOF)
	{
		return nullptr;
	}
```

```
		// Парсинг чисел
		else if (isdigit(c))
		{
			string lexem(1, c);

			c = io->get_next_char();
			while (isdigit(c))
			{
				lexem += c;
				c = io->get_next_char();
			}

			// если число слишком длинное - все плохо

			if (c == '.') // типа real?
			{
				lexem += c;
				c = io->get_next_char();
				while (isdigit(c))
				{
					lexem += c;
					c = io->get_next_char();
				}

				return new ConstToken<double>(ttConst,
stod(lexem), dtReal, position);
			}
			else
			{
				return new ConstToken<int>(ttConst,
stoi(lexem), dtInt, position);
			}
		}
		// Парсинг идентификаторов/операторов
		else if (isalpha(c))
		{
			string lexem(1, c);
			c = io->get_next_char();

			while (isdigit(c) || isalpha(c))
			{
				lexem += c;
				c = io->get_next_char();
			}

			if (OperatorKeyWords.find(lexem) ==
OperatorKeyWords.end())
			{
				return new IdentificatorToken(ttIdentificator,
lexem, position);
			}
			else
			{
				OperatorType ot = OperatorKeyWords.at(lexem);
				if (ot == otTrue || ot == otFalse)
				{
					return new ConstToken<bool>(ttConst, ot,
dtBool, position);
```

```
                        }
                        else
                        {
                                return new OperatorToken(ttOperator, ot,
position);
                        }
                }
        }
        // Парсинг символов
        else if (c == '\'')
        {
                char lexem = io->get_next_char();
                c = io->get_next_char();
                if (c != '\'') // ошибка
                {
                        string error_text = "Ожидалася символ '";
                        error_handler->add_error(error_text, io-
>get_current_position);
                }
                else
                {
                        c = io->get_next_char();
                        return new ConstToken<char>(ttConst, lexem,
dtChar, position);
                }
        }
        // Парсинг строк
        else if (c == '"')
        {
                string lexem = "";
                c = io->get_next_char();
                // если закрытия строки не будет - ошибку как-то
                while (c != '"')
                {
                        lexem += c;
                        c = io->get_next_char();
                        if (c == '\n' || c == EOF)
                                break;
                }

                c = io->get_next_char();
                return new ConstToken<string>(ttConst, lexem,
dtString, position);
        }
        // Парсинг небуквенных операторов
        else
        {
                string lexem(1, c);
                OperatorType ot = otError;
                if (OperatorSymbols.find(lexem) !=
OperatorSymbols.end())
                        ot = OperatorSymbols.at(lexem);

                /*
                .. | := | >= | <= | <>
                */
                switch (ot)
                {
```

```
                case otDot:
                        c = io->get_next_char();
                        if (c == '.')
                        {
                                ot = otDots;
                                c = io->get_next_char();
                        }
                        break;
                case otColon:
                        c = io->get_next_char();
                        if (c == '=')
                        {
                                ot = otAssign;
                                c = io->get_next_char();
                        }
                        break;
                case otLess:
                        c = io->get_next_char();
                        if (c == '=')
                        {
                                ot = otLessEqual;
                                c = io->get_next_char();
                        }
                        else if (c == '>')
                        {
                                ot = otLessGreater;
                                c = io->get_next_char();
                        }
                        break;
                case otGreater:
                        c = io->get_next_char();
                        if (c == '=')
                        {
                                ot = otGreaterEqual;
                                c = io->get_next_char();
                        }
                        break;
                default:
                        c = io->get_next_char();
                }

                if (ot == otError)
                        return new Token(ttUndefined, position);

                return new OperatorToken(ttOperator, ot, position);

        }
}

bool LexicalAnalyzer::check()
{
        int errors_count = 0;
        Token* new_token = get_token();
        do
        {
                tokens.push_back(new_token);
                new_token = get_token();
        } while (new_token != nullptr);
```

```
        tokens.push_back(new Token(ttUndefined, io-
>get_current_position()));

        return error_handler->get_errors_count() == errors_count;
}

vector<Token*> LexicalAnalyzer::get_tokens()
{
        return tokens;
}

LexicalAnalyzer::~LexicalAnalyzer()
{
        delete io;
}
```

3.3.2 Токен

```
enum TokenType {
        ttIdentificator,
        ttOperator,
        ttConst,
        ttUndefined
};

class Token {
public:
        TokenType token_type;
        int position;
        Token(TokenType token_type, int position)
        {
                this->token_type = token_type;
                this->position = position;
        }
        virtual ~Token() = default;
};
```

3.3.3 Токен-константа

```
template<typename T>
class ConstToken : public Token {
public:
        T value;
        DataType data_type;
        ConstToken(TokenType token_type, T value, DataType data_type,
int position) : Token(token_type, position)
        {
                this->value = value;
                this->data_type = data_type;
        }
};
```

3.3.4 Токен-идентификатор

```
class IdentificatorToken : public Token {
```

```
public:
	string name;
	IdentificatorToken(TokenType token_type, string name, int
position) : Token(token_type, position)
	{
		this->name = name;
	}
};
```

3.3.5 Токен-оператор

```
class OperatorToken : public Token {
public:
	OperatorType operator_type;
	OperatorToken(TokenType token_type, OperatorType
operator_type, int position) : Token(token_type, position)
	{
		this->operator_type = operator_type;
	}
};
```

3.3.6 Хэш-таблицы и перечислимый тип для операторов

```
enum OperatorType {
	otError,
	otPlus,                                    // +
	otMinus,                                   // -
	otSlash,                                   // /
	otStar,                                    // *
	otDot,                                     // .
	otDots,                                    // ..
	otEqual,                                   // =
	otLess,                                    // <
	otGreater,                                 // >
	otAssign,                                  // :=
	otComma,                                   // ,

	 ...

	otInteger,                                 // integer
	otBool,                                    // bool
	otReal,                                    // real
	otString,                                  // string
	otChar,                                    // char

	otTrue,                                    // true
	otFalse                                    // false
};
const map<string, OperatorType> OperatorKeyWords = {
	{"if", otIf},
	{"do", otDo},
	{"of", otOf},
	{"or", otOr},
	{"in", otIn},
	{"to", otTo},
	 ...
	{"integer", otInteger},
	{"bool", otBool},
	{"real", otReal},
	{"string", otString},
	{"char", otChar},
```

```
        {"true", otTrue},
        {"false", otFalse}
};

const map<string, OperatorType> OperatorSymbols = {
        {"+", otPlus},
        {"-", otMinus},
        {"/", otSlash},
        {"*", otStar},
        {".", otDot},
        {"..", otDots},
        {"=", otEqual},
        {"<", otLess},
        {">", otGreater},
        {":=", otAssign},
        {",", otComma},
        {">=", otGreaterEqual},
        {"<=", otLessEqual},
        {";", otSemiColon},
        {":", otColon},
        {"(", otLeftParenthesis},
        {")", otRightParenthesis},
        {"[", otLeftBracket},
        {"]", otRightBracket},
        {"<>", otLessGreater}
};


const map<OperatorType, string> KeyWordByOperator = {
        {otIf, "if"},
        {otDo, "do"},
        {otOf, "of"},
        {otOr, "or"},
        {otIn, "in"},
        {otTo, "to"},
        ...
        {otLeftBracket, "["},
        {otRightBracket, "]"},
        {otLessGreater, "<>"},
        {otTrue, "true"},
        {otFalse, "false"}
};
```

3.4 Тестирование

Код программы:

```
program mfdsain;
var x:integer; y:char;
begin
        while not (x > -5) do
        begin
                x := -x * 5;
                x := y + 1;
        end;
end
```

Сгенерированные токены:

0x000002b995680390 {operator_type=otProgram (53) }	Token * {OperatorToken}
0x000002b9956992b0 {name="mfdsain" }	Token * {IdentificatorToken}
0x000002b9956808f0 {operator_type=otSemiColon (14) }	Token * {OperatorToken}
0x000002b995680950 {operator_type=otVar (28) }	Token * {OperatorToken}
0x000002b995699330 {name="x" }	Token * {IdentificatorToken}
0x000002b9956806b0 {operator_type=otColon (15) }	Token * {OperatorToken}
0x000002b995680870 {operator_type=otInteger (56) }	Token * {OperatorToken}
0x000002b9956803f0 {operator_type=otSemiColon (14) }	Token * {OperatorToken}
0x000002b995698ff0 {name="y" }	Token * {IdentificatorToken}
0x000002b995680970 {operator_type=otColon (15) }	Token * {OperatorToken}
0x000002b995680710 {operator_type=otChar (60) }	Token * {OperatorToken}
0x000002b9956804f0 {operator_type=otSemiColon (14) }	Token * {OperatorToken}
0x000002b995680790 {operator_type=otBegin (43) }	Token * {OperatorToken}
0x000002b995680410 {operator_type=otWhile (44) }	Token * {OperatorToken}
0x000002b9956809b0 {operator_type=otNot (31) }	Token * {OperatorToken}
0x000002b995680450 {operator_type=otLeftParenthesis (16) }	Token * {OperatorToken}
0x000002b995699030 {name="x" }	Token * {IdentificatorToken}
0x000002b995680a50 {operator_type=otGreater (9) }	Token * {OperatorToken}
0x000002b995680550 {operator_type=otMinus (2) }	Token * {OperatorToken}
0x000002b995680890 {value=5 data_type=dtInt (0) }	Token * {ConstToken<int>}
0x000002b995680670 {operator_type=otRightParenthesis (17) }	Token * {OperatorToken}
0x000002b995680570 {operator_type=otDo (22) }	Token * {OperatorToken}
0x000002b995680730 {operator_type=otBegin (43) }	Token * {OperatorToken}
0x000002b9956990f0 {name="x" }	Token * {IdentificatorToken}
0x000002b9956805b0 {operator_type=otAssign (10) }	Token * {OperatorToken}
0x000002b995680a70 {operator_type=otMinus (2) }	Token * {OperatorToken}
0x000002b995699070 {name="x" }	Token * {IdentificatorToken}
0x000002b995680750 {operator_type=otStar (4) }	Token * {OperatorToken}
0x000002b9956809d0 {value=5 data_type=dtInt (0) }	Token * {ConstToken<int>}
0x000002b9956807f0 {operator_type=otSemiColon (14) }	Token * {OperatorToken}
0x000002b9956991b0 {name="x" }	Token * {IdentificatorToken}
0x000002b995680770 {operator_type=otAssign (10) }	Token * {OperatorToken}
0x000002b995699130 {name="y" }	Token * {IdentificatorToken}
0x000002b995680350 {operator_type=otPlus (1) }	Token * {OperatorToken}
0x000002b995680370 {value=1 data_type=dtInt (0) }	Token * {ConstToken<int>}
0x000002b9956803b0 {operator_type=otSemiColon (14) }	Token * {OperatorToken}
0x000002b9956805f0 {operator_type=otEnd (27) }	Token * {OperatorToken}
0x000002b99569ccc0 {operator_type=otSemiColon (14) }	Token * {OperatorToken}
0x000002b99569ca40 {operator_type=otEnd (27) }	Token * {OperatorToken}

4 Синтаксический анализатор

4.1 Описание

Синтаксический анализатор проверяет, удовлетворяет ли программа формальным правилам.

Для задания синтаксиса широко применяются формальные правила, записанные в формах Бэкуса-Наура(БНФ), а также синтаксические диаграммы.

4.2 Проектирование

Для начала мы должны определиться какие формальные правила мы будем реализовывать, то есть нужно выписать все формы Бэкуса-Наура которые нам понадобятся:

<программа>::=program <имя>;<блок>.

<блок>::=<раздел переменных><раздел операторов>

<описание однотипных переменных>::=<имя>{,<имя>}:<тип>

<тип>::=integer|real|string|char

<раздел переменных>::= var <описание однотипных переменных>;{<описание однотипных переменных>;} | <пусто>

<раздел операторов>::= <составной оператор>

<оператор>::=<простой оператор>|<сложный оператор>

<простой оператор>::=<переменная>:=<выражение>

<переменная>::=<имя>

<выражение>::=<простое выражение>|<простое выражение><операция отношения><простое выражение>

<операция отношения>::= =|<>|<|<=|>=|>

<простое выражение>::=<слагаемое>{<аддитивная операция><слагаемое>}

<аддитивная операция>::= +|-|or

<слагаемое>::=<множитель>{<мультипликативная операция><множитель>}

<мультипликативная операция>::=*|/|div|mod|and

<множитель>::=[<знак>]<переменная>|[<знак>]<константа>|[<знак>](<выражение>)|not <множитель>

<знак>::= +|-

<сложный оператор>::=<составной оператор>|<выбирающий оператор>|<оператор цикла>

<составной оператор>::= begin <оператор>{;<оператор>} end

<выбирающий оператор>::= if <выражение> then <оператор>|if <выражение> then <оператор> else <оператор>

<оператор цикла>::= while <выражение> do <оператор>

Для каждого описанного выше правила должны быть описана функция, тело которой есть результат преобразования правой части.

Наш синтаксический анализатор будет строиться по принципу детерминированного рекурсивного нисходящего алгоритма.

В модуле синтаксического анализатора были определены следующие методы:

- Функция пытающаяся “принять” очередной токен, то есть подается тип токена который может/должен идти следующим и эта функция проверяет выполняется ли это условие или нет. Эта же функция будет добавлять различные ошибки в обработчик ошибок.
- Функция переходящая на следующий токен
- Функция проверки программы – говорит о том является ли программа синтаксически правильной
- И все функции реализующие вышеописанные формы Бэкуса-Наура

Также были созданы различные переменные – вектор токенов, указатель на обработчик ошибок, указатель на текущий токен.

4.3 Реализация

4.3.1 Функция next_token

```
void SyntaxAnalyzer::next_token()
{
	if (current_token_position == tokens.size())
		return;

	current_token = tokens[current_token_position];
	current_token_position++;
}
```

4.3.2 Функция accept

```
bool SyntaxAnalyzer::accept(TokenType token_type, bool
is_necessarily)
{
	bool result = true;
	if (current_token->token_type != token_type)
		result = false;
	if (result)
		next_token();
	else if (is_necessarily) // выводим ошибку
	{
		string error_text = "";
		switch (current_token->token_type)
		{
			case ttIdentificator:
```

```
                        error_text = "Ожидалось имя
идентификатора";
                        break;
                    case ttOperator:
                        error_text = "Ожидалось имя оператора";
                        break;
                    case ttConst:
                        error_text = "Ожидалась константа";
                        break;
                }

                error_handler->add_error(error_text, current_token-
>position);

                next_token();
        }
        return result;
}

bool SyntaxAnalyzer::accept(OperatorType operator_type, bool
is_necessarily)
{
        bool result = true;
        if (current_token->token_type != ttOperator)
                result = false;

        if (((OperatorToken*)current_token)->operator_type !=
operator_type)
                result = false;

        if (result)
        {
                next_token();
        }
        else if (is_necessarily) // ошибочка вышла
        {
                string error_text = "Ожидался оператор: " +
KeyWordByOperator.find(operator_type)->second;

                error_handler->add_error(error_text, current_token-
>position);

                next_token();
        }

        return result;
}

bool SyntaxAnalyzer::accept(vector<OperatorType> operator_types,
bool is_necessarily)
{
        bool result = false;
        if (current_token->token_type == ttOperator)
        {
                OperatorType current_type =
((OperatorToken*)current_token)->operator_type;

                for (OperatorType operator_type : operator_types)
```

```
                {
                        if (operator_type == current_type)
                        {
                                result = true;
                                break;
                        }
                }
        }

        if (result)
        {
                next_token();
        }
        else if (is_necessarily)
        {
                string error_text = "Ожидался один из операторов: ";

                for (OperatorType operator_type : operator_types)
                        error_text +=
KeyWordByOperator.find(operator_type)->second + ", ";

                error_handler->add_error(error_text, current_token-
>position);



                next_token();
        }

        return result;
}
```

4.3.3 Функции реализующие БНФ

```
void SyntaxAnalyzer::program() // <программа>::=program <имя>(<имя
файла>{,<имя файла>});<блок>.
{
        if (!accept(otProgram, true)) return;
        if (!accept(ttIdentificator, true)) return;
        if (!accept(otSemiColon, true)) return;

        block();

        if (!accept(otDot, true)) return;
}

void SyntaxAnalyzer::block() // <блок>::=<раздел констант><раздел
типов><раздел переменных><раздел процедур и функций><раздел
операторов>
{
        //constants_section();
        vars_section();
        //functions_section();
        operators_section();
}

// ======== Раздел переменных ========
```

```
bool SyntaxAnalyzer::single_var_definition() // <описание однотипных
переменных>::=<имя>{,<имя>}:<тип>
{
	if (!accept(ttIdentificator))
		return false;

	while (accept(otComma))
	{
		if (!accept(ttIdentificator, true)) return false;
	}

	if (!accept(otColon, true)) return false;

	type();

	return true;
}

void SyntaxAnalyzer::type() // <тип>::=integer|real|string|char
{
	accept({ otInteger, otReal, otString, otChar }, true);
}

void SyntaxAnalyzer::vars_section() // <раздел переменных>::= var
<описание однотипных переменных>;{<описание однотипных переменных>;}
| <пусто>
{
	if (!accept(otVar))
		return;

	single_var_definition();
	if (!accept(otSemiColon, true)) return;

	while (single_var_definition())
	{
		if (!accept(otSemiColon, true)) return;
	}
}

// ======== Раздел операторов ========
// <раздел операторов>::= <составной оператор>

void SyntaxAnalyzer::operators_section()
{
	neccessary_compound_operator();
}

//<оператор>::=<простой оператор>|<сложный оператор>
void SyntaxAnalyzer::operator_()
{
	if (!simple_operator())
		complex_operator();
}

//<простой оператор>::=<переменная>:=<выражение>
bool SyntaxAnalyzer::simple_operator() // *
{
	if (!var())
```

```
                return false;

        if (!accept(otAssign, true)) return false;
        expression();

        return true;
}

//<переменная>::=<имя>
bool SyntaxAnalyzer::var()  // *
{
        return accept(ttIdentificator);
}

//<выражение>::=<простое выражение>|<простое выражение><операция
отношения><простое выражение>
void SyntaxAnalyzer::expression()
{
        simple_expression();
        if (relation_operation())
                simple_expression();
}

//<операция отношения>::= =|<>|<|<=|>=|>
bool SyntaxAnalyzer::relation_operation()  // *
{
        return accept({ otEqual, otLessGreater, otLessEqual,
otGreaterEqual, otGreater });
}

//<простое выражение>::=<слагаемое>{<аддитивная
операция><слагаемое>}
void SyntaxAnalyzer::simple_expression()
{
        term();
        while (additive_operation())
                term();
}

//<аддитивная операция>::= +|-|or
bool SyntaxAnalyzer::additive_operation()  // *
{
        return accept({ otPlus, otMinus, otOr });
}

//<слагаемое>::=<множитель>{<мультипликативная операция><множитель>}
void SyntaxAnalyzer::term()
{
        factor();
        while (multiplicative_operation())
                factor();
}

//<мультипликативная операция>::=*|/|div|mod|and
bool SyntaxAnalyzer::multiplicative_operation()  // *
{
        return accept({ otStar, otSlash, otDiv, otMod, otAnd });
}
```

```
//<множитель>::=[<знак>]<переменная>|[<знак>]<константа>|[<знак>](<в
ыражение>)|not <множитель>
void SyntaxAnalyzer::factor()
{
	if (sign())
	{
		//...
	}

	if (var())
	{
		//...
	}
	else if (accept(ttConst))
	{
		//...
	}
	else if (accept(otLeftParenthesis))
	{
		expression();
		accept(otRightParenthesis, true);
	}
	else if (accept(otNot))
	{
		factor();
	}
	else
	{
		string error_text = "Ожидалась
переменная/константа/выражение";

		error_handler->add_error(error_text, current_token-
>position);
	}

}

//<знак>::= +|-
bool SyntaxAnalyzer::sign()  // *
{
	return accept({ otPlus, otMinus });
}

//<сложный оператор>::=<составной оператор>|<выбирающий
оператор>|<оператор цикла>
void SyntaxAnalyzer::complex_operator()
{
	if (compound_operator())
	{
		//...
	}
	else if (if_operator())
	{
		//...
	}
	else if (while_operator())
	{
```

```
                //...
        }
}

//<составной оператор>::= begin <оператор>{;<оператор>} end
bool SyntaxAnalyzer::compound_operator()  // *
{
        if (!accept(otBegin))
                return false;

        operator_();

        while (accept(otSemiColon))
        {
                operator_();
        }

        if (!accept(otEnd, true)) return false;

        return true;
}

//<обязательный составной оператор>::= begin <оператор>{;<оператор>}
end
void SyntaxAnalyzer::neccessary_compound_operator()  // *
{
        if (!accept(otBegin, true)) return;

        operator_();

        while (accept(otSemiColon))
        {
                operator_();
        }

        if (!accept(otEnd, true)) return;
}

//<выбирающий оператор>::= if <выражение> then <оператор>|if
<выражение> then <оператор> else <оператор>
bool SyntaxAnalyzer::if_operator()  // *
{
        if (!accept(otIf))
                return false;

        expression();
        accept(otThen);
        operator_();

        if (accept(otElse))
                operator_();

        return true;
}

//<оператор цикла>::= while <выражение> do <оператор>
bool SyntaxAnalyzer::while_operator()  // *
{
```

```
	if (!accept(otWhile))
		return false;

	expression();
	if (!accept(otDo, true)) return false;
	operator_();

	return true;
}
```

4.3.4 Полное описание класса

Ниже представлено описание класса в заголовочном файле SyntaxAnalyzer.h

```
class SyntaxAnalyzer
{
public:
	SyntaxAnalyzer(vector<Token*> _tokens, ErrorHandler*
 error_handler);

	bool check();

	~SyntaxAnalyzer();
private:
	vector<Token*> tokens;
	ErrorHandler* error_handler;

	int current_token_position;
	Token* current_token;

	void next_token();

	bool accept(TokenType token_type, bool is_necessarily =
false);
	bool accept(OperatorType operator_type, bool is_necessarily =
false);
	bool accept(vector<OperatorType> operator_types, bool
is_necessarily = false);

	void program();

	void block();

	void vars_section();
	void operators_section();

	bool single_var_definition();

	void type();

	void operator_();
	bool simple_operator();
	bool var();
	void expression();
	bool relation_operation();
	void simple_expression();
	bool additive_operation();
	void term();
```

```
        bool multiplicative_operation();
        void factor();
        bool sign();
        void complex_operator();
        void neccessary_compound_operator();
        bool compound_operator();
        bool if_operator();
        bool while_operator();
};
```

Определим все методы в файле-источнике SyntaxAnalyzer.cpp

```
SyntaxAnalyzer::SyntaxAnalyzer(vector<Token*> _tokens, ErrorHandler*
_error_handler)
{
        error_handler = _error_handler;
        tokens = _tokens;
        current_token_position = 0;
        next_token();
}

SyntaxAnalyzer::~SyntaxAnalyzer()
{
        delete current_token;
}

bool SyntaxAnalyzer::check()
{
        int errros_count = error_handler->get_errors_count();

        program();

        return error_handler->get_errors_count() == errros_count;
}

void SyntaxAnalyzer::next_token()
{
        if (current_token_position == tokens.size())
                return;

        current_token = tokens[current_token_position];
        current_token_position++;
}

bool SyntaxAnalyzer::accept(TokenType token_type, bool
is_necessarily)
{
        bool result = true;
        if (current_token->token_type != token_type)
                result = false;
        if (result)
                next_token();
        else if (is_necessarily) // выводим ошибку
        {
                string error_text = "";
                switch (current_token->token_type)
                {
                        case ttIdentificator:
```

```
                        error_text = "Ожидалось имя
идентификатора";
                        break;
                    case ttOperator:
                        error_text = "Ожидалось имя оператора";
                        break;
                    case ttConst:
                        error_text = "Ожидалась константа";
                        break;
                }

                error_handler->add_error(error_text, current_token-
>position);

                next_token();
        }
        return result;
}

bool SyntaxAnalyzer::accept(OperatorType operator_type, bool
is_necessarily)
{
        bool result = true;
        if (current_token->token_type != ttOperator)
                result = false;

        if (((OperatorToken*)current_token)->operator_type !=
operator_type)
                result = false;

        if (result)
        {
                next_token();
        }
        else if (is_necessarily) // ошибочка вышла
        {
                string error_text = "Ожидался оператор: " +
KeyWordByOperator.find(operator_type)->second;

                error_handler->add_error(error_text, current_token-
>position);

                next_token();
        }

        return result;
}

bool SyntaxAnalyzer::accept(vector<OperatorType> operator_types,
bool is_necessarily)
{
        bool result = false;
        if (current_token->token_type == ttOperator)
        {
                OperatorType current_type =
((OperatorToken*)current_token)->operator_type;

                for (OperatorType operator_type : operator_types)
```

```
		{
			if (operator_type == current_type)
			{
				result = true;
				break;
			}
		}
	}

	if (result)
	{
		next_token();
	}
	else if (is_necessarily)
	{
		string error_text = "Ожидался один из операторов: ";

		for (OperatorType operator_type : operator_types)
			error_text += 
KeyWordByOperator.find(operator_type)->second + ", ";

		error_handler->add_error(error_text, current_token-
>position);



		next_token();
	}

	return result;
}

void SyntaxAnalyzer::program() // <программа>::=program <имя>(<имя
файла>{,<имя файла>});<блок>.
{
	if (!accept(otProgram, true)) return;
	if (!accept(ttIdentificator, true)) return;
	if (!accept(otSemiColon, true)) return;

	block();

	if (!accept(otDot, true)) return;
}

void SyntaxAnalyzer::block() // <блок>::=<раздел констант><раздел
типов><раздел переменных><раздел процедур и функций><раздел
операторов>
{
	//constants_section();
	vars_section();
	//functions_section();
	operators_section();
}

// ======== Раздел переменных ========
bool SyntaxAnalyzer::single_var_definition() // <описание однотипных
переменных>::=<имя>{,<имя>}:<тип>
{
```

```
	if (!accept(ttIdentificator))
		return false;

	while (accept(otComma))
	{
		if (!accept(ttIdentificator, true)) return false;
	}

	if (!accept(otColon, true)) return false;

	type();

	return true;
}

void SyntaxAnalyzer::type() // <тип>::=integer|real|string|char
{
	accept({ otInteger, otReal, otString, otChar }, true);
}

void SyntaxAnalyzer::vars_section() // <раздел переменных>::= var
<описание однотипных переменных>;{<описание однотипных переменных>;}
| <пусто>
{
	if (!accept(otVar))
		return;

	single_var_definition();
	if (!accept(otSemiColon, true)) return;

	while (single_var_definition())
	{
		if (!accept(otSemiColon, true)) return;
	}
}

// ======== Раздел операторов ========
// <раздел операторов>::= <составной оператор>

void SyntaxAnalyzer::operators_section()
{
	neccessary_compound_operator();
}

//<оператор>::=<простой оператор>|<сложный оператор>
void SyntaxAnalyzer::operator_()
{
	if (!simple_operator())
		complex_operator();
}

//<простой оператор>::=<переменная>:=<выражение>
bool SyntaxAnalyzer::simple_operator() // *
{
	if (!var())
		return false;

	if (!accept(otAssign, true)) return false;
```

```
	expression();

	return true;
}

//<переменная>::=<имя>
bool SyntaxAnalyzer::var()  // *
{
	return accept(ttIdentificator);
}

//<выражение>::=<простое выражение>|<простое выражение><операция
отношения><простое выражение>
void SyntaxAnalyzer::expression()
{
	simple_expression();
	if (relation_operation())
		simple_expression();
}

//<операция отношения>::= =|<>|<|<=|>=|>
bool SyntaxAnalyzer::relation_operation()  // *
{
	return accept({ otEqual, otLessGreater, otLessEqual,
otGreaterEqual, otGreater });
}

//<простое выражение>::=<слагаемое>{<аддитивная
операция><слагаемое>}
void SyntaxAnalyzer::simple_expression()
{
	term();
	while (additive_operation())
		term();
}

//<аддитивная операция>::= +|-|or
bool SyntaxAnalyzer::additive_operation()  // *
{
	return accept({ otPlus, otMinus, otOr });
}

//<слагаемое>::=<множитель>{<мультипликативная операция><множитель>}
void SyntaxAnalyzer::term()
{
	factor();
	while (multiplicative_operation())
		factor();
}

//<мультипликативная операция>::=*|/|div|mod|and
bool SyntaxAnalyzer::multiplicative_operation()  // *
{
	return accept({ otStar, otSlash, otDiv, otMod, otAnd });
}

//<множитель>::=[<знак>]<переменная>|[<знак>]<константа>|[<знак>](<в
ыражение>)|not <множитель>
```

```
void SyntaxAnalyzer::factor()
{
	if (sign())
	{
		//...
	}

	if (var())
	{
		//...
	}
	else if (accept(ttConst))
	{
		//...
	}
	else if (accept(otLeftParenthesis))
	{
		expression();
		accept(otRightParenthesis, true);
	}
	else if (accept(otNot))
	{
		factor();
	}
	else
	{
		string error_text = "Ожидалась
переменная/константа/выражение";

		error_handler->add_error(error_text, current_token-
>position);
	}

}

//<знак>::= +|-
bool SyntaxAnalyzer::sign()  // *
{
	return accept({ otPlus, otMinus });
}

//<сложный оператор>::=<составной оператор>|<выбирающий
оператор>|<оператор цикла>
void SyntaxAnalyzer::complex_operator()
{
	if (compound_operator())
	{
		//...
	}
	else if (if_operator())
	{
		//...
	}
	else if (while_operator())
	{
		//...
	}
}
```

```
//<составной оператор>::= begin <оператор>{;<оператор>} end
bool SyntaxAnalyzer::compound_operator()  // *
{
	if (!accept(otBegin))
		return false;

	operator_();

	while (accept(otSemiColon))
	{
		operator_();
	}

	if (!accept(otEnd, true)) return false;

	return true;
}

//<обязательный составной оператор>::= begin <оператор>{;<оператор>}
end
void SyntaxAnalyzer::neccessary_compound_operator()  // *
{
	if (!accept(otBegin, true)) return;

	operator_();

	while (accept(otSemiColon))
	{
		operator_();
	}

	if (!accept(otEnd, true)) return;
}

//<выбирающий оператор>::= if <выражение> then <оператор>|if
<выражение> then <оператор> else <оператор>
bool SyntaxAnalyzer::if_operator()  // *
{
	if (!accept(otIf))
		return false;

	expression();
	accept(otThen);
	operator_();

	if (accept(otElse))
		operator_();

	return true;
}

//<оператор цикла>::= while <выражение> do <оператор>
bool SyntaxAnalyzer::while_operator()  // *
{
	if (!accept(otWhile))
		return false;
```

```
        expression();
        if (!accept(otDo, true)) return false;
        operator_();

        return true;
}
```

4.4 Тестирование

Код программы:

```
program mfdsain;
var x:integer; y:char;
begin
        while not (x > -5) do
        begin
                x := -x * 5;
                x := x + 1;
        end;
end
```

Вывод:

```
program mfdsain;
var x:integer; y:char;
begin
        while not (x > -5) do
        begin
                x := -x * 5;
                x := x + 1;
        end;
end
    ^
   Ожидался оператор: .
```

Код программы:

```
program mfdsain;
var x:integer; y:char;
begin
         not (x > -5) do
        begin
                x := -x * 5;
                x := x + 1;
        end;
end
```

Вывод:

```
program mfdsain;
var x:integer; y:char;
begin
         not (x > -5) do
         ^    ^
         |    Ожидался оператор: .
         Ожидался оператор: end

        begin
```

```
                x := -x * 5;
                x := x + 1;
        end;
end
```

5 Семантический анализатор

5.1 Описание

Семантический анализатор получает на вход синтаксически проверенную программу и проверяет не нарушаются ли неформальные правила описания языка.

Реализованные проверки неформальных правил:

- Переменная может быть только одного типа
- Использование необъявленных переменных
- Использование переменных с неприводимыми типами в одном выражении
- Попытка присвоить значение выражения другого типа в отличие от переменной
- Использование неприводимого выражения к типу Boolean в выбирающем операторе и операторе цикла

5.2 Проектирование

Для типов были спроектированы и реализованы специальные классы, для каждого типа свой класс. В каждом таком классе была определена функция – приводим ли этот тип к другому типу?

Для этого был написан абстрактный класс Type и дочерние классы – IntegerType, BoolType, RealType, CharType, StringType

В модуле семантического анализатора были созданы следующие хэш-таблицы:

- Переменные {название, указатель на экземпляр типа}
- Доступные типы {тип данных(перечислимый тип из модуля с токенами), указатель на экземпляр типа}

При вызове конструктора добавим все пять типов в хэш-таблицу доступных типов.

При попытке добавления новой переменной сначала проверим есть ли переменная с таким именем в таблице, если есть – ошибка, иначе добавим эту пару <переменная, тип> в мэпу.

Также одной из важнейших функций является функция приведения типов – она получает два типа и пытается их привести к какому-то, например: [Integer, Real] -> можно привести к типу Real, этот тип и вернет функция.

5.3 Реализация

5.3.1 Функция добавления переменной

```
void SemanticAnalyzer::add_var(VarName name, Type* dt)
{
	if (variables.find(name) == variables.end())
		variables[name] = dt;
```

```
        else
        {
                string error_text = "Переменная с именем `" + name +
"` уже была объявлена";
                error_handler->add_error(error_text, current_token-
>position);
        }
}
```

5.3.2 Функция приведения типов

```
        Type* SemanticAnalyzer::derive(Type* left, Type* right,
OperatorType last_operation, int position_for_error)
{
        Type* result = new Type();
        if (left->can_cast_to(right))
                result = right;
        if (right->can_cast_to(left))
                result = left;

        bool is_string = result-
>can_cast_to(available_types[dtString]);

        /*
        =|<>|<|<=|>=|>
        accept({ otEqual, otLessGreater, otLessEqual, otGreaterEqual,
otGreater });
        +|-|or
        accept({ otPlus, otMinus, otOr });
        *|/|div|mod|and
        accept({ otStar, otSlash, otDiv, otMod, otAnd });
        */

        string error_text;

        if (is_string)
        {
                // только +, =, <>
                if (last_operation != otPlus && last_operation !=
otEqual && last_operation != otLessGreater)
                {
                        error_text = "Данную операцию нельзя применить
к этим операндам";
                        error_handler->add_error(error_text,
position_for_error);
                }
        }
        else
        {
                if (left->can_cast_to(available_types[dtString])||
right->can_cast_to(available_types[dtString])) // хотя бы один
операнд - строковый
                {
                        error_text = "Данную операцию нельзя применить
к этим операндам";
                        error_handler->add_error(error_text,
position_for_error);
                }
        }
```

```
        if (last_operation == otEqual || last_operation ==
otLessGreater || last_operation == otLessEqual ||
                last_operation == otGreaterEqual || last_operation ==
otGreater || last_operation == otLess ||
                last_operation == otOr || last_operation == otAnd)
                return available_types[dtBool];

        return result;
}
```

5.3.3 Полное описание класса модуля семантического анализатора

Описание в заголовочном файле SemanticAnalyzer.h

```
class SemanticAnalyzer
{
public:
        SemanticAnalyzer(vector<Token*>  _tokens, ErrorHandler*
_error_handler);
        ~SemanticAnalyzer();

        bool check();

private:
        int current_token_position;
        Token* current_token;

        vector<Token*> tokens;
        ErrorHandler* error_handler;

        map<VarName, Type*> variables;
        map<DataType, Type*> available_types;
        map<OperatorType, int> get_last_position_of_operator;
        OperatorType lastOp;

        void next_token();

        Type* derive(Type* left, Type* right, OperatorType
last_operation, int position_for_error);

        void add_var(VarName name, Type* dt);
        VarName get_var_name_from_token(Token* token);
        Type* get_type_from_const_token(Token* token);

        bool accept(TokenType token_type);
        bool accept(OperatorType operator_type);
        bool accept(vector<OperatorType> operator_types);

        void program();

        void block();

        void vars_section();
        void operators_section();

        bool single_var_definition();
```

```
        Type* type();

        void operator_();
        bool simple_operator();
        Type* expression();
        bool relation_operation();
        Type* simple_expression();
        bool additive_operation();
        Type* term();
        bool multiplicative_operation();
        Type* factor();
        bool sign();
        void complex_operator();
        void neccessary_compound_operator();
        bool compound_operator();
        bool if_operator();
        bool while_operator();
};
```

Реализация описанных методов в файле-источнике SemanticAnalyzer.cpp:

```
SemanticAnalyzer::SemanticAnalyzer(vector<Token*> _tokens,
ErrorHandler* _error_handler)
{
        tokens = _tokens;
        error_handler = _error_handler;

        current_token_position = 0;
        next_token();

        available_types[dtInt] = new IntegerType();
        available_types[dtReal] = new RealType();
        available_types[dtString] = new StringType();
        available_types[dtBool] = new BoolType();
        available_types[dtChar] = new CharType();
}

SemanticAnalyzer::~SemanticAnalyzer()
{
        delete error_handler;
}

bool SemanticAnalyzer::check()
{
        int errors_count = error_handler->get_errors_count();
        program();
        return error_handler->get_errors_count() == errors_count;
}

void SemanticAnalyzer::next_token()
{
        if (current_token_position == tokens.size())
                return;

        current_token = tokens[current_token_position];
        current_token_position++;

        if (current_token->token_type == ttOperator)
```

```
	get_last_position_of_operator[((OperatorToken*)current_token)
->operator_type] = current_token->position;
}

Type* SemanticAnalyzer::derive(Type* left, Type* right, OperatorType
last_operation, int position_for_error)
{
	Type* result = new Type();
	if (left->can_cast_to(right))
		result = right;
	if (right->can_cast_to(left))
		result = left;

	bool is_string = result-
>can_cast_to(available_types[dtString]);

	/*
	=|<>|<|<=|>=|>
	accept({ otEqual, otLessGreater, otLessEqual, otGreaterEqual,
otGreater });
	+|-|or
	accept({ otPlus, otMinus, otOr });
	*|/|div|mod|and
	accept({ otStar, otSlash, otDiv, otMod, otAnd });
	*/

	string error_text;

	if (is_string)
	{
		// только +, =, <>
		if (last_operation != otPlus && last_operation !=
otEqual && last_operation != otLessGreater)
		{
			error_text = "Данную операцию нельзя применить
к этим операндам";
			error_handler->add_error(error_text,
position_for_error);
		}
	}
	else
	{
		if (left->can_cast_to(available_types[dtString])||
right->can_cast_to(available_types[dtString])) // хотя бы один
операнд - строковый
		{
			error_text = "Данную операцию нельзя применить
к этим операндам";
			error_handler->add_error(error_text,
position_for_error);
		}
	}

	if (last_operation == otEqual || last_operation ==
otLessGreater || last_operation == otLessEqual ||
		last_operation == otGreaterEqual || last_operation ==
otGreater || last_operation == otLess ||
```

```
                last_operation == otOr || last_operation == otAnd)
                return available_types[dtBool];

        return result;
}

void SemanticAnalyzer::add_var(VarName name, Type* dt)
{
        if (variables.find(name) == variables.end())
                variables[name] = dt;
        else
        {
                string error_text = "Переменная с именем `" + name +
"` уже была объявлена";
                error_handler->add_error(error_text, current_token-
>position);
        }
}

VarName SemanticAnalyzer::get_var_name_from_token(Token* token)
{
        if (token->token_type != ttIdentificator)
                return "";

        return ((IdentificatorToken*)token)->name;
}

Type* SemanticAnalyzer::get_type_from_const_token(Token* token)
{
        if (auto ct = dynamic_cast<ConstToken<int>*>(token)) {
                return available_types[ct->data_type];
        }
        else if (auto ct = dynamic_cast<ConstToken<double>*>(token))
{
                return available_types[ct->data_type];
        }
        else if (auto ct = dynamic_cast<ConstToken<string>*>(token))
{
                return available_types[ct->data_type];
        }
        else if (auto ct = dynamic_cast<ConstToken<char>*>(token)) {
                return available_types[ct->data_type];
        }
        else if (auto ct = dynamic_cast<ConstToken<bool>*>(token)) {
                return available_types[ct->data_type];
        }

        return new Type();
}

bool SemanticAnalyzer::accept(TokenType token_type)
{
        bool result = true;
        if (current_token->token_type != token_type)
                result = false;

        if (result)
                next_token();
```

```
	return result;
}

bool SemanticAnalyzer::accept(OperatorType operator_type)
{
	bool result = true;
	if (current_token->token_type != ttOperator)
		result = false;

	if (((OperatorToken*)current_token)->operator_type !=
operator_type)
		result = false;

	if (result)
	{
		lastOp = operator_type;
		next_token();
	}

	return result;
}

bool SemanticAnalyzer::accept(vector<OperatorType> operator_types)
{
	bool result = false;
	if (current_token->token_type == ttOperator)
	{
		OperatorType current_type =
((OperatorToken*)current_token)->operator_type;

		for (OperatorType operator_type : operator_types)
		{
			if (operator_type == current_type)
			{
				lastOp = operator_type;
				result = true;
				break;
			}
		}
	}

	if (result)
		next_token();

	return result;
}

void SemanticAnalyzer::program() // <программа>::=program <имя>(<имя
файла>{,<имя файла>});<блок>.
{
	accept(otProgram);
	accept(ttIdentificator);
	accept(otSemiColon);

	block();

	accept(otDot);
```

```
}

void SemanticAnalyzer::block() // <блок>::=<раздел констант><раздел
типов><раздел переменных><раздел процедур и функций><раздел
операторов>
{
	vars_section();
	operators_section();
}

// ======== Раздел переменных ========
bool SemanticAnalyzer::single_var_definition() // <описание
однотипных переменных>::=<имя>{,<имя>}:<тип>
{
	vector<VarName> variableNames;

	variableNames.push_back(get_var_name_from_token(current_token
));
	if (!accept(ttIdentificator))
		return false;

	while (accept(otComma))
	{

	variableNames.push_back(get_var_name_from_token(current_token
));
		accept(ttIdentificator);
	}

	accept(otColon);

	Type* varType = type();

	for (VarName name : variableNames)
	{
		add_var(name, varType);
	}

	return true;
}

Type* SemanticAnalyzer::type() // <тип>::=integer|real|string|char
{
	if (accept(otInteger))
		return available_types[dtInt];
	if (accept(otReal))
		return available_types[dtReal];
	if (accept(otString))
		return available_types[dtString];
	if (accept(otChar))
		return available_types[dtChar];
}

void SemanticAnalyzer::vars_section() // <раздел переменных>::= var
<описание однотипных переменных>;{<описание однотипных переменных>;}
| <пусто>
{
	accept(otVar);
```

```
	single_var_definition();
	accept(otSemiColon);

	while (single_var_definition())
	{
		accept(otSemiColon);
	}
}

// ======== Раздел операторов ========
// <раздел операторов>::= <составной оператор>

void SemanticAnalyzer::operators_section()
{
	neccessary_compound_operator();
}

//<оператор>::=<простой оператор>|<сложный оператор>
void SemanticAnalyzer::operator_()
{
	if (!simple_operator())
		complex_operator();
}

//<простой оператор>::=<переменная>:=<выражение>
bool SemanticAnalyzer::simple_operator() // *
{
	int mem_position = current_token->position;
	VarName name = get_var_name_from_token(current_token);

	if (!accept(ttIdentificator))
		return false;

	accept(otAssign);
	Type* t = expression();

	if (variables.find(name) == variables.end())
	{
		string error_text = "Переменная не была объявлена";
		error_handler->add_error(error_text, mem_position);
	}
	else
	{
		if (!t->can_cast_to(variables[name]))
		{
			// TODO: вывод ошибки
			string error_text = "Вычисленное выражение
имеет другой тип в отличие от переменной";
			error_handler->add_error(error_text,
get_last_position_of_operator[otAssign]);
		}
	}

	return true;
}
```

```
//<выражение>::=<простое выражение>|<простое выражение><операция
отношения><простое выражение>
Type* SemanticAnalyzer::expression()
{
	Type *t1, *t2;
	t1 = simple_expression();
	if (relation_operation())
	{
		OperatorType last_operation = lastOp;
		int position =
get_last_position_of_operator[last_operation];
		t2 = simple_expression();
		t1 = derive(t1, t2, last_operation, position);
	}

	return t1;
}

//<операция отношения>::= =|<>|<|<=|>=|>
bool SemanticAnalyzer::relation_operation()  // *
{
	return accept({ otEqual, otLessGreater, otLessEqual,
otGreaterEqual, otGreater });
}

//<простое выражение>::=<слагаемое>{<аддитивная
операция><слагаемое>}
Type* SemanticAnalyzer::simple_expression()
{
	Type* t1, * t2;
	t1 = term();
	while (additive_operation())
	{
		OperatorType last_operation = lastOp;
		int position =
get_last_position_of_operator[last_operation];
		t2 = term();
		t1 = derive(t1, t2, last_operation, position);
	}
	return t1;
}

//<аддитивная операция>::= +|-|or
bool SemanticAnalyzer::additive_operation()  // *
{
	return accept({ otPlus, otMinus, otOr });
}

//<слагаемое>::=<множитель>{<мультипликативная операция><множитель>}
Type* SemanticAnalyzer::term()
{
	Type* t1, * t2;
	t1 = factor();
	while (multiplicative_operation())
	{
		OperatorType last_operation = lastOp;
		int position =
get_last_position_of_operator[last_operation];
```

```
                t2 = factor();
                t1 = derive(t1, t2, last_operation, position);
        }

        return t1;
}

//<мультипликативная операция>::=*|/|div|mod|and
bool SemanticAnalyzer::multiplicative_operation()  // *
{
        return accept({ otStar, otSlash, otDiv, otMod, otAnd });
}

//<множитель>::=[<знак>]<переменная>|[<знак>]<константа>|[<знак>](<в
ыражение>)|not <множитель>
Type* SemanticAnalyzer::factor()
{
        // TODO: сделать что-то со знаком...
        if (sign())
        {
                //...
        }

        VarName name = get_var_name_from_token(current_token);
        Type* const_type = get_type_from_const_token(current_token);
        int mem_position = current_token->position;
        if (accept(ttIdentificator))
        {
                if (variables.find(name) == variables.end())
                {
                        string error_text = "Переменная не была
объявлена";
                        error_handler->add_error(error_text,
mem_position);
                        return new Type();
                }
                return variables[name];
        }
        else if (accept(ttConst))
        {
                return const_type;
        }
        else if (accept(otLeftParenthesis))
        {
                Type* t = expression();
                accept(otRightParenthesis);

                return t;
        }
        else if (accept(otNot))
        {
                Type* t = factor();

                if (!t->can_cast_to(available_types[dtBool]))
                {
                        string error_text = "Выражение должно иметь тип
Bool";
```

```
                        error_handler->add_error(error_text,
get_last_position_of_operator[otNot]);
                        // TODO: ошибка
                }

                return available_types[dtBool];
        }

}

//<знак>::= +|-
bool SemanticAnalyzer::sign()  // *
{
        return accept({ otPlus, otMinus });
}

//<сложный оператор>::=<составной оператор>|<выбирающий
оператор>|<оператор цикла>
void SemanticAnalyzer::complex_operator()
{
        if (compound_operator())
        {
                //...
        }
        else if (if_operator())
        {
                //...
        }
        else if (while_operator())
        {
                //...
        }
}

//<составной оператор>::= begin <оператор>{;<оператор>} end
bool SemanticAnalyzer::compound_operator()  // *
{
        if (!accept(otBegin))
                return false;

        operator_();

        while (accept(otSemiColon))
        {
                operator_();
        }

        accept(otEnd);

        return true;
}

//<обязательный составной оператор>::= begin <оператор>{;<оператор>}
end
void SemanticAnalyzer::neccessary_compound_operator()  // *
{
        accept(otBegin);
```

```
	operator_();

	while (accept(otSemiColon))
	{
		operator_();
	}

	accept(otEnd);
}

//<выбирающий оператор>::= if <выражение> then <оператор>|if
<выражение> then <оператор> else <оператор>
bool SemanticAnalyzer::if_operator()  // *
{
	if (!accept(otIf))
		return false;

	Type* t = expression();

	if (!t->can_cast_to(available_types[dtBool]))
	{
		string error_text = "Выражение должно иметь тип Bool";
		error_handler->add_error(error_text, current_token-
>position);
		// TODO: ошибка
	}

	accept(otThen);
	operator_();

	if (accept(otElse))
		operator_();

	return true;
}

//<оператор цикла>::= while <выражение> do <оператор>
bool SemanticAnalyzer::while_operator()  // *
{
	if (!accept(otWhile))
		return false;

	Type* t = expression();
	if (!t->can_cast_to(available_types[dtBool]))
	{
		string error_text = "Выражение должно иметь тип Bool";
		error_handler->add_error(error_text, current_token-
>position);
		// TODO: ошибка
	}

	accept(otDo);
	operator_();

	return true;
}
```

5.3.4 Описание класса типов

```
enum EType
{
	et_intger,
	et_bool,
	et_real,
	et_char,
	et_string,
	et_undefined
};

class Type
{
public:
	EType type = et_undefined;
	Type() {};
	virtual bool can_cast_to(Type* another_type) { return false;
};
};

class IntegerType : public Type
{
public:
	IntegerType() { type = et_intger; }
	bool can_cast_to(Type* another_type)
	{
		return another_type->type == et_real ||
			another_type->type == type;
	}
};

class BoolType : public Type
{
public:
	BoolType() { type = et_bool; }
	bool can_cast_to(Type* another_type)
	{
		return another_type->type == et_real ||
			another_type->type == et_intger  ||
			another_type->type == et_real    ||
			another_type->type == type;
	}
};

class RealType : public Type
{
public:
	RealType() { type = et_real; }
	bool can_cast_to(Type* another_type)
	{
		return another_type->type == type;
	}
};

class CharType : public Type
{
public:
	CharType() { type = et_char; }
	bool can_cast_to(Type* another_type)
```

```
        {
                return another_type->type == et_string ||
another_type->type == type;
        }
};

class StringType : public Type
{
public:
        StringType() { type = et_string; }
        bool can_cast_to(Type* another_type)
        {
                return another_type->type == type;
        }
};
```

5.4 Тестирование

Код программы:

```
program mfdsain;
var x:integer; y:char;
begin
        while not (x > -5) do
        begin
                if (1 > (x + (test + (1 + 'c')))) then
                begin
                        x := -x * 5;
                        x := y + 1;
                        f := 5
                end;
                x := -x * 5;
                x := y + 1;
                f := 5
        end;
        if (1 > (x + (test + (1 + 'c')))) then
        begin
                z := 5
        end;
end.
```

Вывод:

```
program mfdsain;
var x:integer; y:char;
begin
        while not (x > -5) do
        begin
                if (1 > (x + (test + (1 + 'c')))) then
                                ^          ^
                                |          Данную операцию нельзя
применить к этим операндам
                                Переменная не была объявлена

                begin
                        x := -x * 5;
                        x := y + 1;
                          ^    ^
```

```
                        |     Данную операцию нельзя применить к этим
операндам
                          Вычисленное выражение имеет другой тип в
отличие от переменной

                        f := 5
                        ^
                        Переменная не была объявлена

                end;
                x := -x * 5;
                x := y + 1;
                  ^    ^
                  |    Данную операцию нельзя применить к этим
операндам
                  Вычисленное выражение имеет другой тип в отличие от
переменной

                f := 5
                ^
                Переменная не была объявлена

        end;
        if (1 > (x + (test + (1 + 'c')))) then
                        ^          ^
                        |          Данную операцию нельзя применить к
этим операндам
                        Переменная не была объявлена

        begin
                z := 5
                ^
                Переменная не была объявлена

        end;
end.
```

Код программы:

```
program mfdsain;
var x:integer; y:char;
begin
        if (a + b + c > 0) then
        begin
                if (x > 0) then
                begin
                        if (y > x) then
                        begin
                                z := 5
                        end;
                end;
        end;
end.
```

Вывод:

```
program mfdsain;
var x:integer; y:char;
begin
```

```
        if (a + b + c > 0) then
            ^   ^   ^
            |   |   Переменная не была объявлена
            |   Переменная не была объявлена
           Переменная не была объявлена

        begin
                if (x > 0) then
                begin
                        if (y > x) then
                                ^
                                Данную операцию нельзя применить к этим
операндам

                        begin
                                z := 5
                                ^
                                Переменная не была объявлена

                        end;
                end;
        end;
end.
```