МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования «БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет Информационных Технологий
Кафедра Программной инженерии
Специальность 1-40 01 01 Программное обеспечение информационных технологий
Специализация Конструирование программного обеспечения

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ НА ТЕМУ:

«Разработка компилятора KAD-2023»

Выполнил студент Кантарович Андрей Дмитриевич
(Ф.И.О.)

Руководитель проекта ст. преп. Наркевич Аделина Сергеевна
(учен. степень, звание, должность, подпись, Ф.И.О.)

Заведующий кафедрой к.т.н., доц. Смелов В.В.
(учен. степень, звание, должность, подпись, Ф.И.О.)

Консультанты ст. преп. Наркевич Аделина Сергеевна
(учен. степень, звание, должность, подпись, Ф.И.О.)

Нормоконтролер ст. преп. Наркевич Аделина Сергеевна
(учен. степень, звание, должность, подпись, Ф.И.О.)

Курсовой проект защищен с оценкой _____

Минск 2023

Содержание

Введение

В данном курсовом проекте мною поставлена задача создать удобный, понятный язык программирования KAD-2023, написанный на языке C++, и транслятор для данного языка, который будет транслировать KAD-2023 в язык ассемблера.

Транслятор – программа или средство, выполняющее преобразование программы, представленной на одном из языков программирования, в программу, написанную на другом языке.

В данном курсовом проекте поставлены следующие задачи:

1. Разработка спецификации KAD-2023;
2. Разработка структуры трансляции;
3. Разработка лексического анализатора;
4. Разработка синтаксического анализатора;
5. Разработка семантического анализатора;
6. Разбор арифметических выражений;
7. Тестирование транслятора.

1 Спецификация языка программирования

1.1 Характеристика языка программирования

KAD-2023 является процедурным, строго типизированным языком программирования, который транслируется на язык ассемблера. KAD-2023 является языком общего назначения.

1.2 Определение алфавита языка программирования

В алфавит языка программирования KAD-2023 входят символы латиницы ([a-z] [A-Z]), кириллицы ([а-я] [А-Я]), а так же символы операций (+ - * / %, <, >) и сепараторов ({} () ; , пробел) . Таблица входных символов представлена в пункте 3.2.

1.3 Применяемые сепараторы

Сепараторы в языке программирования KAD-2023 представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Сепараторы языка KAD-2023

Сепаратор	Правила и назначение
Пробел	Служит для разделения идентификаторов и ключевых слов. Не может использоваться в них.
Точка с запятой ;	Разделяет инструкции
Скобки ( )	Параметры. Определение приоритетности операции в выражении.
Фигурные скобки { }	Определяет программный блок.
Запятая ,	Разделитель параметров.

Сепараторы – это программные конструкции, служащие для разделения блоков кода.

1.4 Применяемые кодировки

Кодировка, используемая для написания программ на языке KAD-2023 – кодировка Windows-1251. Таблица символов Windows-251 представлена на рисунке 1.1.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0				©	Ё	§	Є	·		°						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1																
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
2		!	"	#	$	%	&		(	)	*	+				/
	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
3	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	:	;	<	=	>	?
	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
4	@	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
5	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	[	\	]	^	_
	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
6	`	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111
7	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z	{	|	}]	~	□
	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127
8	Ъ	Ѓ	‚	ѓ	„	…	†	‡		‰	Љ	‹	Њ	Ќ	Ћ	Џ
	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143
9	ђ	'	'	"	"		–	—		™	љ	›	њ	ќ	ћ	џ
	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159
A		Ў	ў	Ј	¤	Ґ	¦	§	Ё	©	Є	«		-	®	Ї
	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175
B	°	±	І	і	ґ	µ		·	ё	№	є	»	ј	Ѕ	ѕ	ї
	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191
C	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Й	К	Л	М	Н	О	П
	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207
D	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ	Ы	Ь	Э	Ю	Я
	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	• 223
E	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	й	к	л	м	н	о	п
	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239
F	р	с	т	у	ф	х	ц	ч	ш	щ	ъ	ы	ь	э	ю	я
	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255

Рисунок 1.1 – Таблица символов кодировки Windows-1251

Windows-1251 – набор символов и кодировка, являющаяся 8-битной кодировкой для русских версий Windows.

1.5 Типы данных

Тип данных представляет собой набор или группировку значений данных, обычно задаваемых набором возможных значений, набором разрешенных операций над этими значениями и/или представлением этих значений в виде типов компьютеров.

Типы данные, реализованные в языке программирования KAD-2023:

- Целочисленный (2 байта)
- Строковый

1.6 Преобразование типов данных

В языке программирования KAD-2023 преобразование типов не предусмотрено.

1.7 Идентификаторы

Идентификаторы – имена, задаваемые в программе для переменных, типов и функций. Идентификаторы не должны совпадать с ключевыми словами. Имя идентификатора создается по следующим правилам:

- состоит из символов [a-z], [A-Z], [0-9] и ‘_’;
- длина идентификаторов не должна превышать 20 символов.

1.8 Литералы

Литералы – неизменяемые значения, или константы. Являются значением переменных. В языке программирования KAD-2023 реализованы строковые и целочисленные литералы. Литералы являются rvalue, выражениями, которые не представляют собой объекты, которые занимают идентифицируемое место в памяти.

rvalue - это то, что можно только присваивать, например, литералы или результаты выражений.

1.9 Объявление данных

Объявление переменных осуществляется с помощью ключевого слова var. Объявление функций осуществляется с помощью ключевого слова function.

1.10 Инициализация данных

Объектами-инициализаторами могут быть только идентификаторы или литералы. При объявлении предусмотрены значения по умолчанию: значение 0 для типа short и строка длины 0 (“”) для типа str. Также возможна инициализация непосредственно при объявлении переменной.

1.11 Инструкции языка

В языке программирования KAD-2023 реализованы некоторые инструкции (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Инструкции языка

Инструкция	Запись инструкции
Объявление переменной	<тип данных> var <идентификатор>;
Вывод	write(<литерал>|<идентификатор>);
Возврат значения	return <литерал>|<идентификатор>;
Присваивание	<идентификатор> = <выражение>|<литерал>|<идентфикатор>;
Вызов функции	<тип данных> var <идентификатор> = <идентификатор>([параметр][,]);

Функции в языке KAD-2023 вызываются только через присваивание функции к переменной.

1.12 Операции языка

В языке программирования KAD-2023 реализованны некоторые операции.

Арифметические операции:

- Сложение (+)
- Вычитание (-)
- Умножение (*)
- Деление нацело (/)
- Деление по модулю (%)

Операции сравнения:

- Больше (>)
- Меньше (<)

1.13 Выражения и их вычисления

Выражение — комбинация значений или переменных, констант, переменных, операций и функций, которая может быть интерпретирована в соответствии с правилами конкретного языка. Выражения в языке программирования KAD-2023 относятся только к целочисленному типу.

Выражения составляются по следующим правилам:

- Просмотр выражения идет слева направо;
- Приоритет последовательности операция можно изменить с помощью круглых скобок ();
- Выражение может иметь вызов функции;
- Выражение считывается до символа сепаратора точки с запятой.

1.14 Конструкции языка

Программные конструкции языка, реализованные в языке программирования KAD-2023 (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Конструкции языка

Конструкция	Описание	Реализация

Главная функция	Начало работы кода	main
		{
		<инструкции языка>
		}

Таблица 1.3 (продолжение) – Конструкции языка

Конструкция	Описание	Реализация

Функция	Именованный блок кода	<тип> function <идентификатор> ([<тип данных> param <идентификатор>][, <тип данных> param <идентификатор>])
		{
		<инструкции языка>
		return <идентификатор>|<литерал>
		}

Цикл	Повторение блока кода определенное количество раз	repeat(<выражение>)
		{
		<инструкции языка>
		}

Конструкция языка – синтаксически допустимая часть программы, которая может быть сформирована из одного или нескольких лексических ключевых слов в соответствии с правилами языка программирования.

1.15 Область видимости идентификаторов

Область видимости идентификаторов может быть локальной и глобальной. Локальные идентификаторы – идентификаторы, объявленные внутри функции. Глобальные идентификаторы – идентификаторы, объявленные вне функций.

1.16 Семантические проверки

В языке программирования KAD-2023 есть следующие правила семантической проверки исходного текста языка (таблица 1.4)

Таблица 1.4 – Семантические проверки языка KAD-2023

Номер	Правило
1	Деление на ноль
2	Совпадение типов данных
3	Корректность строковых выражений справа от знака равно
4	Проверка на возвращающее значение из функции
5	Передаваемые параметру в функцию при вызове
6	Корректность условного выражения
7	Переопределение типов данных
8	Выход за пределы области видимости

Таблица 1.4 (продолжение) – Семантические проверки языка KAD-2023

Номер	Правило
9	Усечение слишком длинного значения string-литерала
10	Округление слишком большого значения short-литерала
11	Точка входа main
12	Проверка типа идентификаторов
13	Проверка лексем
14	Если ошибка возникает на этапе лексического анализа, синтаксический анализ не выполняется
15	При возникновении ошибки в процессе синтаксического анализа, ошибочная фраза игнорируется (предполагается, что ее нет) и осуществляется попытка разбора следующей фразы. Граница фразы – точка с запятой.
16	Если 3 подряд фразы не разобраны, то работа транслятора останавливается

Назначение семантического анализа – проверка смысловой правильности конструкций языка программирования.

1.17 Распределение оперативной памяти на этапе выполнения

Транслированный код использует две области памяти. В сегмент констант заносятся все литералы. В сегмент данных заносятся переменные, параметры функций. Локальная область видимости в исходном коде определяется за счет использования переменной, хранящей имя родительского блока, что и обуславливает их локальность на уровне ассемблерного кода, в языке нет глобальных переменных, все глобальные функции имеют имя родительского блока “global”.

1.18 Стандартная библиотека и ее состав

В стандартной библиотеке языка программирования KAD-2023 реализованы некоторые функции (таблица 1.5)

Таблица 1.5 – Функции стандартной библиотеки

Имя функции	Назначение	Параметры	Возвращаемое значение
copy	Копирование n символов строки str2 в строку str1	str param str1, str param str2, short param n	str

Таблица 1.5 (продолжение) – Функции стандартной библиотеки

Имя функции	Назначение	Параметры	Возвращаемое значение
lenght	Вычисление длины строки	str	short
random	Вывод случайного числа в диапазоне от a до b	short param a, short param b	short
getLocalTimeAndDate	Вывод текущей даты и времени	-	str

Функции стандартной библиотеки добавляются в таблицу идентификаторов на этапе лексического анализа.

1.19 Ввод и вывод данных

Вывод в языке программирования KAD-2023 осуществляется с помощью ключевого слова “write”. При каждом использовании write вывод начинается с новой строки.

1.20 Точка входа

Точкой входа является ключевое слово “main”.

1.21 Препроцессор

Препроцессор в языке программирования KAD-2023 не предусмотрен.

1.22 Соглашения о вызовах

Используется соглашение stdcall, все параметры передаются в стек справа налево, память освобождается вызываемым кодом.

1.23 Объектный код

Код на языке KAD-2023 транслируется в исходный код на языке ассемблера.

1.24 Классификация сообщений

Сообщения об ошибках трансляции классифицируются следующим образом:

Таблица 1.6 – Номера ошибок и их характеристика

Номера ошибок	Характеристика
0 – 99	Системные ошибки
100 – 104	Ошибки входных параметров
105 – 109	Ошибки при открытии файла
110 – 119	Ошибки при чтении файла
120 – 140	Ошибки лексического анализа
600 – 610	Ошибки синтаксического анализа
700 – 710	Ошибки семантического анализа

Обрабатываются ошибки на всех этапах обработки исходного кода, то есть во время прохождения различных этапов анализа.

1.25 Контрольный пример

Контрольный пример показывает работу всех функций и показывает особенности языка KAD-2023. Исходный код контрольного примера представлен в приложении А.

2 Структура транслятора

2.1 Компоненты транслятора, их назначение и принципы взаимодействия

В языке KAD-2023 исходный код транслируется в язык Assembler. Транслятор языка разделён на отдельные части, которые взаимодействуют между собой и выполняют отведённые им функции, которые представлены в пункте 2.1. Для того чтобы получить ассемблерный код, используется выходные данные работы лексического анализатора, а именно таблица лексем и таблица идентификаторов. Для указания выходных файлов используются входные параметры транслятора, которые описаны в таблице 2.1. Структура транслятора языка KAD-2023 приведена на рисунке 1.

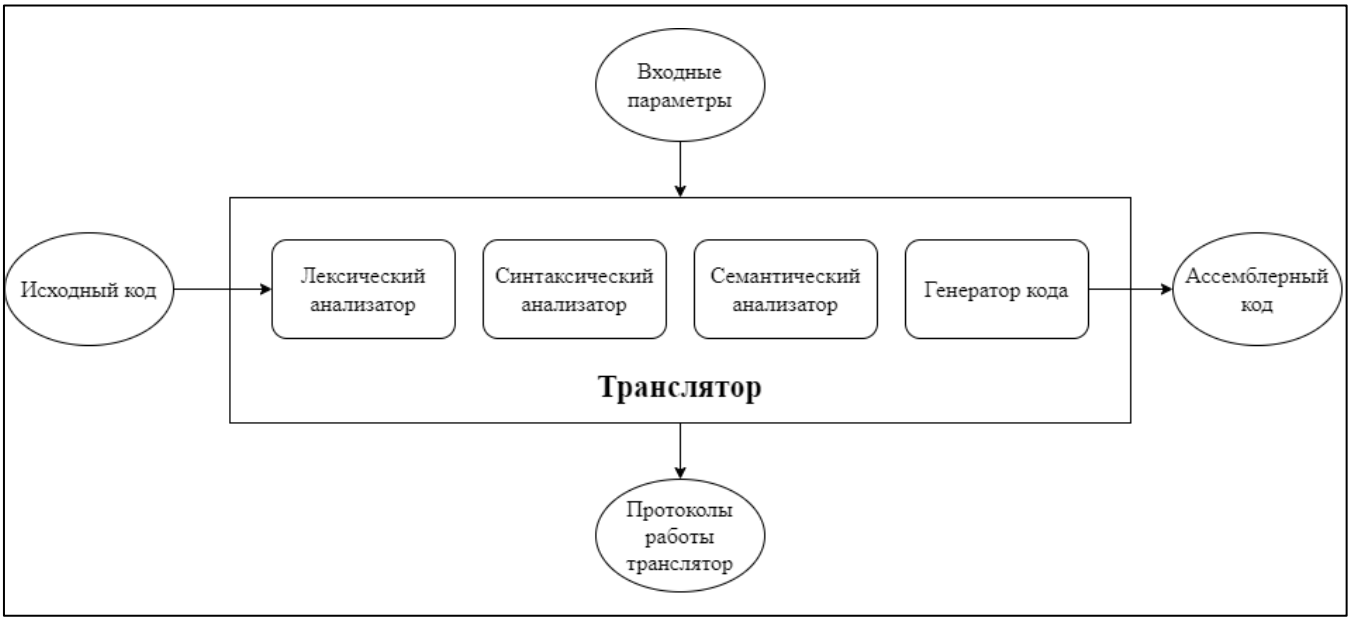


Рисунок 2.1 – Структура транслятора языка KAD-2023

Первая стадия работы компилятора называется лексическим анализом, а программа, её реализующая, – лексическим анализатором (сканером). На вход лексического анализатора подаётся последовательность символов входного языка. Он производит предварительный разбор текста, преобразующий единый массив текстовых символов в массив отдельных слов (в теории компиляции вместо термина «слово» часто используют термин «токен»). Примеры лексических единиц: идентификаторы, числа, символы операций, служебные слова и т.д. Лексический анализатор преобразует исходный текст, заменяя лексические единицы их внутренним представлением – лексемами, для создания промежуточного представления исходной программы. Каждой лексеме сопоставляется ее тип и запись в таблице идентификаторов, в которой хранится дополнительная информация. Таблица лексем (ТЛ) и таблица идентификаторов (ТИ) являются

входом для следующей фазы компилятора – синтаксического анализа (разбора, парсера).

Цели лексического анализатора:

- убрать все лишние пробелы;
- выполнить распознавание лексем;
- построить таблицу лексем и таблицу идентификаторов;
- при неуспешном распознавании или обнаружении некоторых ошибок во входном тексте выдать сообщение об ошибке.

Синтаксический анализатор – часть компилятора, выполняющая синтаксический анализ, то есть проверку исходного кода на соответствие правилам грамматики. Входной информацией для синтаксического анализа является таблица лексем и таблица идентификаторов. Выходной информацией является дерево разбора

Семантический анализатор – часть транслятора, выполняющая семантический анализ, то есть проверку исходного кода на наличие ошибок, которые невозможно отследить при помощи регулярной и контекстно-свободной грамматики. Входными данными являются таблица лексем и идентификаторов.

Генератор кода – часть транслятора, выполняющая генерацию ассемблерного кода на основе полученных данных на предыдущих этапах трансляции. На вход генератора подаются таблица лексем и таблица идентификаторов, на основе которых генерируется файл с ассемблерным кодом.

2.2 Перечень входных параметров транслятора

Для формирования файлов с результатами работы лексического, синтаксического и семантического анализаторов используются входные параметры транслятора, которые приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Входные параметры транслятора языка KAD-2023

Входной параметр	Описание параметра	Значение по умолчанию
-in:<путь к in-файлу>	Файл с исходным кодом на языке KAD-2023, имеющий расширение .txt	Не предусмотрено
-log:<путь к log-файлу>	Файл журнала для вывода протоколов работы программы.	Значение по умолчанию: <имя in-файла>.log
-out:<путь к out-файлу>	Выходной файл – результат работы транслятора. Содержит исходный код на языке асемблера.	Значение по умолчанию: <имя in-файла>.asm

Входные параметры указываются через командную строку вручную.

2.3 Перечень протоколов, формируемых транслятором и их содержимое

В ходе работы программы формируются протоколы работы лексического, синтаксического и семантического анализаторов, которые содержат в себе перечень протоколов работы. В таблице 2.2 приведены протоколы, формируемые транслятором и их содержимое.

Таблица 2.2 - Протоколы, формируемые транслятором языка KAD-2023

Формируемый протокол	Описание выходного протокола
Файл журнала, заданный параметром "-log:"	Файл с протоколом работы транслятора языка программирования KAD-2023. Содержит информацию про входные параметры, общем количестве символов и строк(исходные данные), протокол работы синтаксического анализатора, полученный на этапе синтаксического анализа.
Выходной файл с названием "Table.id.txt"	Файл содержит таблицу идентификаторов, сформированную во время лексического анализа.
Выходной файл с названием "Table.lex.txt"	Файл содержит таблицу лексем, сформированную во время лексического анализа.
Выходной файл с названием "PolishNotation.lex.txt"	Файл содержит таблицу лексем, выражения в которой написаны обратной польской нотацией.
Выходной файл, заданный параметром "-out:"	Результат работы программы – файл, содержащий исходный код на языке ассемблера.

Файлы таблиц создаются в папке Tables. Файлы log и out создаются в корневой папке.

3 Разработка лексического анализатора

3.1 Структура лексического анализатора

Первая стадия работы компилятора называется лексическим анализом, а программа, её реализующая, – лексическим анализатором (сканером). На вход лексического анализатора подаётся исходный код входного языка. Лексический анализатор выделяет в этой последовательности простейшие конструкции языка. Лексический анализатор производит предварительный разбор текста, преобразующий единый массив текстовых символов в массив токенов.

Функции лексического анализатора:

- удаление «пустых» символов и комментариев. Если «пустые» символы (пробелы, знаки табуляции и перехода на новую строку) и комментарии будут удалены лексическим анализатором, синтаксический анализатор никогда не столкнется с ними (альтернативный способ, состоящий в модификации грамматики для включения «пустых» символов и комментариев в синтаксис, достаточно сложен для реализации);
- распознавание идентификаторов и ключевых слов;
- распознавание констант;
- распознавание разделителей и знаков операций.

Исходный код программы представлен в приложении А, структура лексического анализатора представлена на рисунке 3.1.

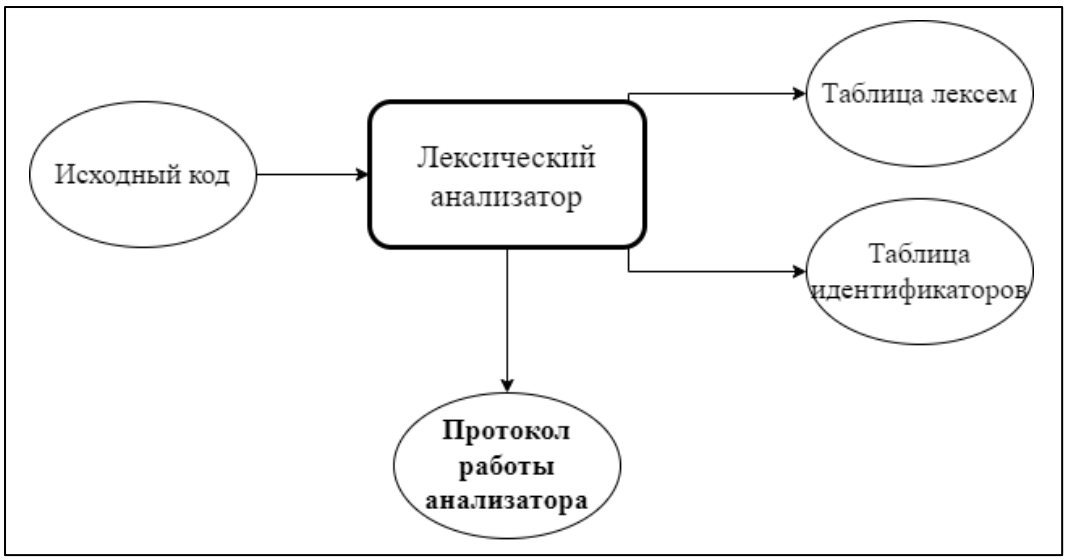


Рисунок 3.1 – Структура лексического анализатора

Примеры лексических единиц: идентификаторы, числа, символы операций, служебные слова и т.д. Лексический анализатор преобразует исходный текст, заменяя лексические единицы их внутренним представлением – лексемами, для создания промежуточного представления исходной программы. Каждой лексеме сопоставляется ее тип и запись в таблице идентификаторов, в которой хранится дополнительная информация.

3.2 Контроль входных символов

Для удобной работы с исходным кодом, при передаче его в лексический анализатор, все символы разделяются по категориям. Таблица входных символов представлена на рисунке 3.2, категории входных символов представлены в таблице 3.1.

```
#define IN_CODE_TABLE {\
    IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::S,   '|', IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F,\
    IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F,\
    IN::S, IN::F, IN::T, IN::V, IN::F, IN::V, IN::V, IN::F, IN::V, IN::V, IN::V, IN::V, IN::V, IN::V, IN::F, IN::V,\
    IN::N, IN::N, IN::N, IN::N, IN::N, IN::N, IN::N, IN::N, IN::N, IN::N, IN::T, IN::V, IN::V, IN::V, IN::V, IN::F,\
    IN::F, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T,\
    IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::F, IN::F, IN::F, IN::V, IN::T,\
    IN::F, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T,\
    IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::V, IN::F, IN::V, IN::T, IN::F,\
                                                                                                                   \
    IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F,\
    IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::T, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F,\
    IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F,\
    IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F, IN::F,\
    IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T,\
    IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T,\
    IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T,\
    IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T, IN::T,\
}
```

Рисунок 3.2 – Таблица контроля входных символов

Таблица 3.1 - Соответствие символов и их значений в таблице

Значение в таблице входных символов	Символы
Разрешенный	T
Запрещенный	F
Игнорируемый	I
Пробел, табуляция	S
Операторы	V
Цифры	N

Если символ во входном файле не отмечен в таблице контроля, лексический анализатор выдаст соответствующую ошибку.

3.3 Удаление избыточных символов

Избыточными символами являются символы табуляции и пробелы.

Избыточные символы удаляются на этапе разбиения исходного кода на токены.

Описание алгоритма удаления избыточных символов:

1. Посимвольно считываем файл с исходным кодом программы;

2. Встреча пробела или знака табуляции является своего рода встречей символа-сепаратора;
3. В отличие от других символов-сепараторов не записываем в очередь лексем эти символы, т.е. игнорируем.

3.4 Перечень ключевых слов

Лексический анализатор преобразует исходный текст, заменяя лексические единицы лексемами для создания промежуточного представления исходной программы. Соответствие токенов и лексем приведено в таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Соответствие токенов и сепараторов с лексемами

Токен	Лексема	Пояснение
short, str	t	Названия типов данных языка.
Идентификатор	i	Длина идентификатора – 20 символов.
Литерал	l	Литерал любого доступного типа.
function	f	Объявление функции.
var	v	Объявление переменной
param	p	Объявление параметра функции
return	r	Выход из функции/процедуры.
main	m	Главная функция.
write	w	Вывод данных
repeat	~	Указывает на начало тела цикла.
;	;	Разделение выражений.
,	,	Разделение параметров функций.
{	{	Начало блока/тела функции.
}	}	Закрытие блока/тела функции.
(	(	Передача параметров в функцию, приоритет операций.
)	)	Закрытие блока для передачи параметров, приоритет операций.
=	=	Знак присваивания.

Таблица 3.2 (окончание) - Соответствие токенов и сепараторов с лексемами

Токен	Лексема	Пояснение
+ - * / %	+ - * / %	Знаки операций.
> <	> <	Знаки логических операторов.
#	нет	Комментарии.

Пример реализации таблицы лексем представлен в приложении Б.

Каждому выражению соответствует детерминированный конечный автомат, по которому происходит разбор данного выражения. На каждый автомат в массиве подаётся токен и с помощью регулярного выражения, соответствующего данному графу переходов, происходит разбор. В случае успешного разбора выражения оно записывается в таблицу лексем. Если выражение является идентификатором или литералом, информация также заносится в таблицу идентификаторов. Структура конечного изображена на рисунке 3.3.

```
namespace FST
{
    RELATION::RELATION(char c = 0x00, short ns = NULL)
    {
        symbol = c;
        nnode = ns;
    };

    NODE::NODE()                                    // по умолчанию
    {
        n_relation = 0;
        RELATION* relations = NULL;
    };

    NODE::NODE(short n, RELATION rel, ...)      // с параметрами
    {
        n_relation = n;
        RELATION* ptr = &rel;
        relations = new RELATION[n];
        for (short i = 0; i < n; i++)
            relations[i] = ptr[i];
    };

    FST::FST(const char* s, const char lex, short ns, NODE n, ...)
    {
        lexema = lex;
        string = s;
        nstates = ns;
        nodes = new NODE[ns];
        NODE* ptr = &n;
        for (int k = 0; k < ns; k++)
            nodes[k] = ptr[k];
        rstates = new short[nstates];
        memset(rstates, 0xff, sizeof(short) * nstates);
        rstates[0] = 0;
        position = -1;
    };
```

Рисунок 3.3 – Структура конечного автомата

Пример графа перехода конечного автомата изображен на рисунке 3.4.

```
#define FST_MAIN(string) FST::FST(string, LEX_MAIN, 5, \
FST::NODE(1, FST::RELATION('m', 1)), \
FST::NODE(1, FST::RELATION('a', 2)), \
FST::NODE(1, FST::RELATION('i', 3)), \
FST::NODE(1, FST::RELATION('n', 4)), \
FST::NODE())
```

Рисунок 3.4 – Пример реализации графа КА для токена main

Пример работы графа перехода представлен на рисунке 3.6.

3.5 Основные структуры данных

Основными структурами данных лексического анализатора являются таблица лексем и таблица идентификаторов. Таблица лексем содержит номер лексемы, лексему (lexema), полученную при разборе, знак оператора (sign), номер строки в исходном коде (sn), номер токена (st), и номер в таблице идентификаторов, если лексема является идентификатором (idxTI). Код C++ со структурой таблицы лексем представлен на рисунке 3.5.

```
namespace LT                            // таблица лексем
{
    struct Entry                        // строка таблицы лексем
    {
        char lexema;                    // лексема
        char sign;                      // знак лексемы v или LT_V_NULL
        int sn;                         // номер строки в исходном тексте
        int tn;                         // номер токена в строке
        int idxTI;                      // индекс в таблице идентификаторов или LT_TI_NULLIDX

        Entry(char lexema, int sn, int tn, int idxTI);      // для идентификатор
        Entry(char lexema, char sign, int sn, int tn);      // для операторов
        Entry(char lexema, int sn, int tn);                 // остальные лексемы
        Entry(char lexema);
    };

    struct LexTable                     // экземпляр таблицы лексем
    {
        int maxsize;                    // емкость таблицы лексем < LT_MAXSIZE
        int current_size;               // текущий размер таблицы лексем < maxsize
        Entry** table;                  // массив указателей на строки таблицы лексем

        LexTable();
        LexTable(int size);         // создать таблицу лексем
    };
    void Add(LexTable& lextable, Entry* entry);                     // добавление лексем
    Entry GetEntry(LexTable& lextable, int n);                      // получить строку таблицы лексем
    void PrintLexTable(LexTable& lextable, const wchar_t* in);      // вывод лексем в файл
    void Delete(LexTable& lextable);                                // удалить таблицу лексем (освободить память)
}
```

Рисунок 3.5 - Структура таблицы лексем

Таблица идентификаторов содержит имя идентификатора (id), номер в таблице лексем (idxfirstLE), тип данных (iddatatype), тип идентификатора (idtype) и значение (или параметры функций) (value). Код C++ со структурой таблицы идентификаторов представлен в приложении _.

3.6 Принцип обработки ошибок

Для обработки ошибок лексический анализатор использует таблицу с сообщениями. Структура сообщений содержит информацию о номере сообщения, номер строки и позицию, где было вызвано сообщение в исходном коде, информацию об ошибке. Перечень сообщений об ошибках лексического анализатора представлен на рисунке 3.6.

```
ERROR_ENTRY(120, "[ЛЕКСЕМА НЕРАСПОЗНАННА]"),
ERROR_ENTRY(121, "[ТИП ДАННЫХ ИДЕНТИФИКАТОРА НЕ ОПРЕДЕЛЕН]"),
ERROR_ENTRY(122, "[ПРЕВЫШЕНИЕ РАЗМЕРА ТАБЛИЦЫ ЛЕКСЕМ]"),
ERROR_ENTRY(123, "[ПЕРЕПОЛНЕНИЕ ТАБЛИЦЫ ЛЕКСЕМ]"),
ERROR_ENTRY(124, "[ПОПЫТКА ОБРАЩЕНИЯ К НЕЗАПОЛНЕННОЙ СТРОКЕ ТАБЛИЦЫ ЛЕКСЕМ]"),
ERROR_ENTRY(125, "[ПРЕВЫШЕНИЕ РАЗМЕРА ЛЕКСЕМЫ]"),
ERROR_ENTRY(126, "[НЕ УДАЛОСЬ ОТКРЫТЬ ФАЙЛ ПРОТОКОЛА (ТАБЛИЦА ЛЕКСЕМ)]"),
ERROR_ENTRY(127, "[ПРЕВЫШЕН РАЗМЕР ТАБЛИЦЫ ИДЕНТИФИКАТОРОВ]"),
ERROR_ENTRY(128, "[ТАБЛИЦА ИДЕНТИФИКАТОРОВ ПЕРЕПОЛНЕНА]"),
ERROR_ENTRY(129, "[ПОПЫТКА ОБРАЩЕНИЯ К НЕЗАПОЛНЕННОЙ СТРОКЕ ТАБЛИЦЫ ИДЕНТИФИКАТОРОВ]"),
ERROR_ENTRY(130, "[ВЫХОД ЗА ПРЕДЕЛЫ ОБЛАСТИ ВИДИМОСТИ]"),
ERROR_ENTRY(131, "[ПОПЫТКА ПЕРЕОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРЕМЕННОЙ]"),
ERROR_ENTRY(132, "[ТИП НЕ ОПРЕДЕЛЕН]"),
ERROR_ENTRY(133, "[ОТСУТСТВИЕ MAIN]"),
ERROR_ENTRY(134, "[ОБНАРУЖЕННО НЕСКОЛЬКО ТОЧЕК ВХОДА MAIN]"),
```

Рисунок 3.6 - Структура таблицы лексем

При возникновении сообщения, лексический анализатор выбрасывает исключение – работа программы останавливается.

3.7 Структура и перечень сообщений лексического анализатора

Ошибки, возникающие в процессе трансляции программы, фиксируются в протокол, заданный входным параметрами. В случае возникновения ошибок происходит их протоколирование с номером ошибки и диагностическим сообщением.

3.8 Параметры лексического анализатора

Результаты работы лексического анализатора, а именно таблицы лексем и идентификаторов выводятся в два отдельных файла – Table.lex.txt и Table.id.txt .

3.9 Алгоритм лексического анализа

1. Проверяет входной поток символов программы на исходном языке на допустимость, удаляет лишние пробелы и добавляет сепаратор для вычисления номера строки для каждой лексемы;
2. Для выделенной части входного потока выполняется функция распознавания лексемы;
3. При успешном распознавании информация о выделенной лексеме заносится в таблицу лексем и таблицу идентификаторов, и алгоритм возвращается к первому этапу;
4. Формирует протокол работы;

5. При неуспешном распознавании выдается сообщение об ошибке.

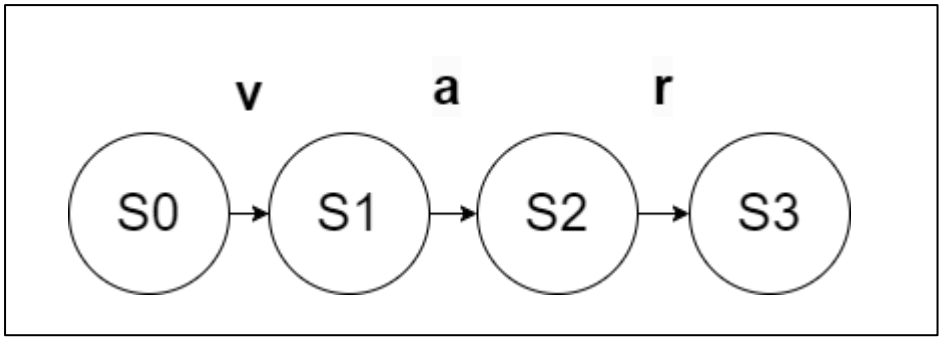


Рисунок 3.6 - Пример графа переходов для цепочки var

Распознавание цепочек основывается на работе конечных автоматов. Работу конечного автомата можно проиллюстрировать с помощью графа переходов. Пример графа для цепочки «var» представлен на рисунке 3.2, где S0 – начальное, а S3 – конечное состояние автомата.

3.10 Контрольный пример

Результат работы лексического анализатора в виде таблиц лексем и идентификаторов, соответствующих контрольному примеру, представлен в приложении Б.

4 Разработка синтаксического анализатора

4.1 Структура синтаксического анализатора

Синтаксический анализатор: часть компилятора, выполняющая синтаксический анализ, то есть исходный код проверяется на соответствие правилам грамматики.

Описание структуры синтаксического анализатора языка представлено на рисунке 4.1.

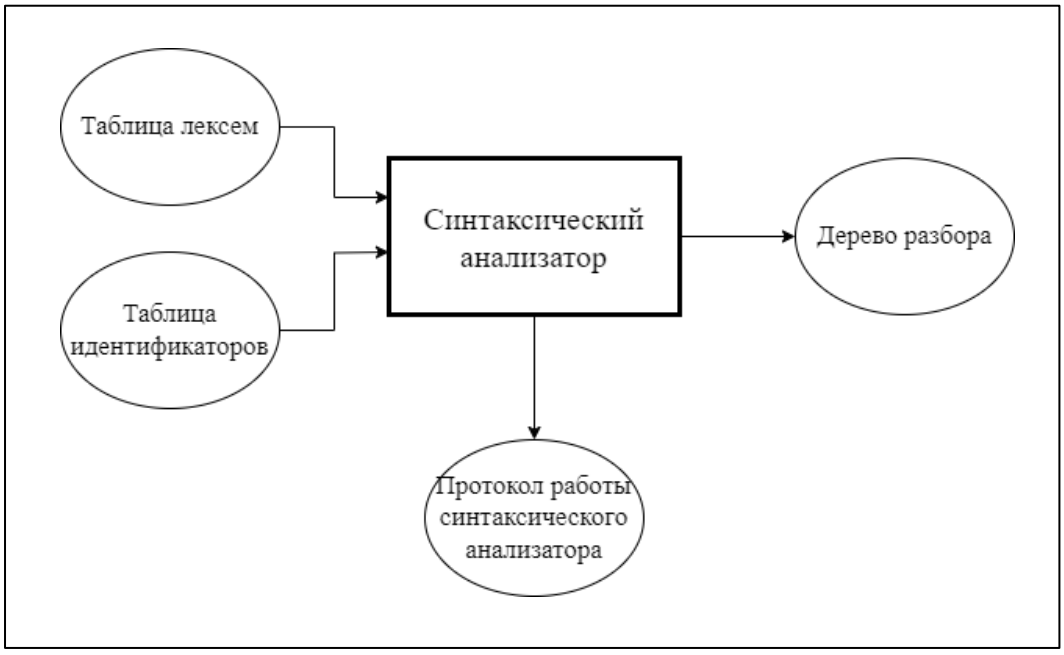


Рисунок 4.1 Структура синтаксического анализатора

Входной информацией для синтаксического анализа является таблица лексем и таблица идентификаторов. Выходной информацией– дерево разбора

4.2 Контекстно-свободная грамматика, описывающая синтаксис языка

В синтаксическом анализаторе транслятора языка KAD-2023 используется контекстно-свободная грамматика $G = \langle T, N, P, S \rangle$, где

T – множество терминальных символов (было описано в разделе 1.2 данной пояснительной записки),

N – множество нетерминальных символов (первый столбец таблицы 4.1),

P – множество правил языка (второй столбец таблицы 4.1),

S – начальный символ грамматики, являющийся нетерминалом.

Эта грамматика имеет нормальную форму Грейбах, т.к. она не леворекурсивная (не содержит леворекурсивных правил)

Описание нетерминальных символов содержится в таблице 1 приложения В.

4.3 Построение конечного магазинного автомата

Конечный автомат с магазинной памятью представляет собой семерку $M = \langle Q, V, Z, \delta, q_0, z_0, F \rangle$. Подробное описание компонентов магазинного автомата представлено в таблице 4.2.

Таблица 4.1 – Описание компонентов магазинного автомата

Компонента	Определение	Описание
Q	Множество состояний автомата	Состояние автомата представляет из себя структуру, содержащую позицию на входной ленте, номера текущего правила и цепочки и стек автомата
V	Алфавит входных символов	Алфавит представляет из себя множества терминальных и нетерминальных символов, описание которых содержится в таблица 3.1 и 4.1.
Z	Алфавит специальных магазинных символов	Алфавит магазинных символов содержит стартовый символ и маркер дна стека (представляет из себя символ $)
δ	Функция переходов автомата	Функция представляет из себя множество правил грамматики, описанных в таблице 4.1.
q_0	Начальное состояние автомата	Состояние, которое приобретает автомат в начале своей работы. Представляется в виде стартового правила грамматики
z_0	Начальное состояние магазина автомата	Символ маркера дна стека $
F	Множество конечных состояний	Конечные состояние заставляют автомат прекратить свою работу. Конечным состоянием является пустой магазин автомата и совпадение позиции на входной ленте автомата с размером ленты

Автомат с магазинной памятью – это, по существу, недетерминированный конечный автомат, имеющий дополнительную потенциально неограниченную ленту памяти (магазин).

4.4 Основные структуры данных

Основные структуры данных синтаксического анализатора представляются в виде структуры магазинного конечного автомата, выполняющего разбор исходной ленты, и структуры грамматики Грейбах, описывающей синтаксические правила языка KAD-2023. Данные структуры в приложении В.

4.5 Описание алгоритма синтаксического разбора

Принцип работы автомата, следующий:

1. В магазин записывается стартовый символ;
2. На основе полученных ранее таблиц формируется входная лента;
3. Запускается автомат;
4. Выбирается цепочка, соответствующая нетерминальному символу, записывается в магазин в обратном порядке;
5. Если терминалы в стеке и в ленте совпадают, то данный терминал удаляется из ленты и стека. Иначе возвращаемся в предыдущее сохраненное состояние и выбираем другую цепочку нетерминала;
6. Если в магазине встретился нетерминал, переходим к пункту 4;
7. Если наш символ достиг дна стека, и лента в этот момент пуста, то синтаксический анализ выполнен успешно. Иначе генерируется исключение.

4.6 Структура и перечень сообщений синтаксического анализатора

Перечень сообщений синтаксического анализатора представлен на рисунке 4.3.

```
ERROR_ENTRY(600, "[НЕВЕРНАЯ СТРУКТУРА ПРОГРАММЫ]"),
ERROR_ENTRY(601, "[ОШИБОЧНЫЙ ОПЕРАТОР]"),
ERROR_ENTRY(602, "[ОШИБКА В ВЫРАЖЕНИИ]"),
ERROR_ENTRY(603, "[ОШИБКА В ПАРАМЕТРАХ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ФУНКЦИИ]"),
ERROR_ENTRY(604, "[ОШИБКА В ПАРАМЕТРАХ ПРИ ВЫЗОВЕ ФУНКЦИИ]"),
ERROR_ENTRY(605, "[МОЖНО ИСПОЛЬЗОВАТЬ ТОЛЬКО ЛИТЕРАЛ ИЛИ ИДЕНТИФИКАТОР]"),
ERROR_ENTRY(606, "[ОШИБКА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПЕРЕМЕННОЙ]"),
ERROR_ENTRY(607, "[ОШИБКА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ УСЛОВИЯ ПЕРЕХОДА]"),
ERROR_ENTRY(608, "[ОШИБКА ПРИ НАЧАЛЬНОЙ ИНИЦИАЛИЗАЦИИ ПЕРЕМЕННОЙ]"),
ERROR_ENTRY(609, "[ОШИБКА В ТЕЛЕ ЦИКЛА]"),
```

Рисунок 4.2 - Сообщения синтаксического анализатора

На этапе синтаксического анализа определено 10 потенциально возможных ошибок, каждая из которых обрабатывается и в случае возникновения – срабатывает и выводится.

4.7 Параметры синтаксического анализатора и режимы его работы

Входной информацией для синтаксического анализатора является таблица лексем и идентификаторов. Кроме того, используется описание грамматики в форме Грейбах. Результаты работы лексического разбора, а именно дерево разбора и протокол работы автомата с магазинной памятью выводятся в журнал работы программы.

4.8 Принцип обработки ошибок

Синтаксический анализатор выполняет разбор исходной последовательности лексем до тех пор, пока не дойдёт до конца цепочки лексем или не найдёт ошибку. Тогда анализ останавливается и выводится сообщение об ошибке (если она найдена). Если в процессе анализа находятся более трёх ошибок, то анализ останавливается.

4.9 Контрольный пример

Результаты работы лексического разбора, а именно дерево разбора и протокол работы автомата с магазинной памятью приведены в приложении В.

5 Разработка семантического анализатора

5.1 Структура семантического анализатора

Семантический анализатор принимает на свой вход результаты работ лексического и синтаксического анализаторов, то есть таблицы лексем, идентификаторов и результат работы синтаксического анализатора, то есть дерево разбора, и последовательно ищет необходимые ошибки. Некоторые проверки (такие как проверка на единственность точки входа, проверка на предварительное объявление переменной) осуществляются в процессе лексического анализа. Общая структура обособленно работающего (не параллельно с лексическим анализом) семантического анализатора представлена на рисунке 5.1.

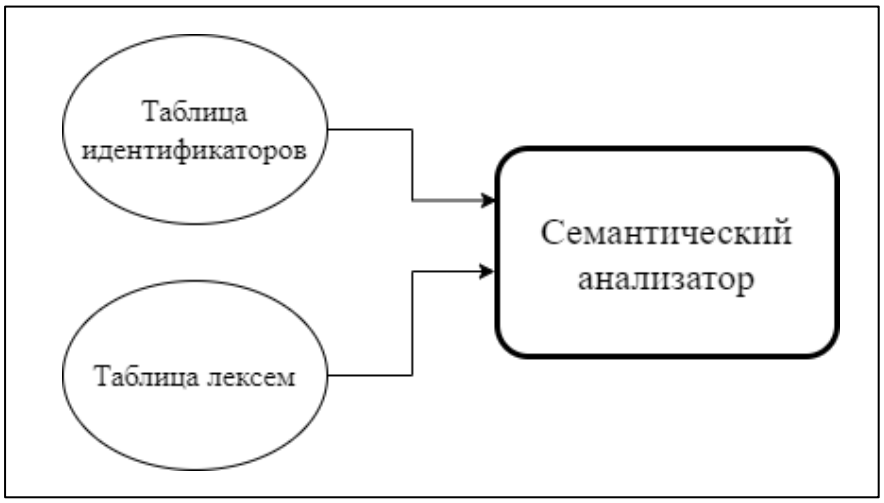


Рисунок 5.1 Структура семантического анализатора

5.2 Функции семантического анализатора

Семантический анализатор выполняет проверку на основные правила языка (семантики языка), которые описаны в разделе 1.16.

5.3 Структура и перечень сообщений семантического анализатора

Сообщения, формируемые семантическим анализатором, представлены на рисунке 5.1.

```
ERROR_ENTRY(700, "[ДЕЛЕНИЕ НА НОЛЬ]"),
ERROR_ENTRY(701, "[ТИПЫ ДАННЫХ В ВЫРАЖЕНИИ НЕ СОВПАДАЮТ]"),
ERROR_ENTRY(702, "[НЕДОПУСТИМОЕ СТРОКОВОЕ ВЫРАЖЕНИЕ]"),
ERROR_ENTRY(703, "[ТИП ФУНКЦИИ И ВОЗВРАЩАЕМОЕ ЗНАЧЕНИЕ НЕ СОВПАДАЮТ]"),
ERROR_ENTRY(704, "[НЕСОВПАДЕНИЕ ТИПОВ ПАРАМЕТРОВ]"),
ERROR_ENTRY(705, "[КОЛИЧЕСТВО ПЕРЕДАВАЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕ СОВПАДАЕТ С ОЖИДАЕМЫМ]"),
ERROR_ENTRY(706, "[НЕВЕРНОЕ УСЛОВНОЕ ВЫРАЖЕНИЕ]"),
```

Рисунок 5.2 Перечень сообщений семантического анализатора.

На этапе семантического анализа предусмотрено возникновение 6 возможных ошибок.

5.4 Принцип обработки ошибок

Ошибки, возникающие в процессе трансляции программы, фиксируются в протокол, заданный входным параметрами. В случае возникновения ошибок происходит их протоколирование с номером ошибки и диагностическим сообщением.

5.5 Контрольный пример

Соответствие примеров некоторых ошибок в исходном коде и диагностических сообщений об ошибках приведено в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Примеры диагностики ошибок

Исходный код	Текст сообщения

main{
short var x;
x = 5 / 0;
}
	Ошибка 700: [ДЕЛЕНИЕ НА НОЛЬ]

main{
short var x = 15;
x = x + “string”;
}
	Ошибка 701: [ТИПЫ ДАННЫХ В ВЫРАЖЕНИИ НЕ СОВПАДАЮТ]

main{
str var y;
y = "test2" + “test3”;
}
	Ошибка 702: [НЕДОПУСТИМОЕ СТРОКОВОЕ ВЫРАЖЕНИЕ]

Общая информация про ошибки выводится непосредственно в консоль. Более подробная – в текстовые файлы.

6 Вычисление выражений

6.1 Выражения, допускаемые языком

В языке программирования KAD-2023 поддерживаются только выражения между идентификаторами и литералами целочисленного типа. Приоритет операций представлен на таблице 6.1.

Таблица 6.1 - Приоритеты операций

Операция	Значение приоритета
%	4
/	4
*	4
-	3
+	3
,	2
( )	1

6.2 Польская запись и принцип её построения

Все выражения языка KAD-2023 преобразовываются к обратной польской записи.

Польская запись – это альтернативный способ записи арифметических выражений, преимущество которого состоит в отсутствии скобок. Существует два типа польской записи: прямая и обратная, также известные как префиксная и постфиксная. Отличие их от классического, инфиксного способа заключается в том, что знаки операций пишутся не между, а, соответственно, до или после аргументов.

Алгоритм построения польской записи:

- исходная строка: выражение;
- результирующая строка: польская запись;
- стек: пустой;
- исходная строка просматривается слева направо;
- операнды переносятся в результирующую строку;
- операция записывается в стек, если стек пуст;
- операция выталкивает все операции с большим или равным приоритетом в результирующую строку;
- отрывающая скобка помещается в стек;
- закрывающая скобка выталкивает все операции до открывающей скобки, после чего обе скобки уничтожаются.

6.3 Программная реализация обработки выражений

Программная реализация алгоритма преобразования выражений к польской записи представлена в приложении Г.

6.4 Контрольный пример

Пример преобразования выражений из контрольных примеров к обратной польской записи представлен в таблице 6.2.

Таблица 6.2 - Преобразование выражений к ПОЛИЗ

Выражение	Обратная польская запись для выражения
i+l	Il+
((i+l)*l/l-l)%l	il+l*l/l-l%####
i(l,l)	ill@2#

ПОЛИЗ, или, как её еще называют, обратная польская запись, это способ бесскобочного представления выражений (не только арифметических), в которых операнды предшествуют операции.

7 Генерация кода

7.1 Структура генератора кода

В языке KAD-2023 генерация кода является заключительным этапом трансляции. Генератор принимает на вход таблицы лексем и идентификаторов, полученные в результате лексического анализа. В соответствии с таблицей лексем строится выходной файл на языке ассемблера, который будет являться результатом работы транслятора. В случае возникновения ошибок генерация кода не будет осуществляться. Структура генератора кода KAD-2023 представлена на рисунке 7.1.

Рисунок 7.1 – Структура генератора кода

7.2 Представление типов данных в оперативной памяти

Элементы таблицы идентификаторов расположены сегментах .data и .const языка ассемблера. Соответствия между типами данных идентификаторов на языке KAD-2023 и на языке ассемблера приведены в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Соответствия типов идентификаторов языка KAD-2023 и языка ассемблера

Тип идентификатора на языке KAD-2023	Тип идентификатора на языке ассемблера	Пояснение
short	sword	Хранит целочисленный 2-ух байтный тип данных.

Таблица 7.1 – Соответствия типов идентификаторов языка KAD-2023 и языка ассемблера

Тип идентификатора на языке KAD-2023	Тип идентификатора на языке ассемблера	Пояснение
str	dword	Хранит указатель на начало строки. Строка должна завершаться символом нуль-терминатор.

В то время как идентификатор str имеет тип dword, литерал этой строки хранится как тип данных byte.

7.3 Статическая библиотека

В языке KAD-2023 предусмотрена статическая библиотека. Статическая библиотека содержит функции, написанные на языке C++. Объявление функций статической библиотеки генерируется автоматически в коде ассемблера.

Таблица 7.2 – Функции статической библиотеки

Функция	Назначение
void write_str(char* str)	Вывод на консоль строки str
void write_short(short num)	Вывод на консоль целочисленной переменной num
short length (char* str)	Вычисление длины строки
char* copy (char* str1, char* str2, short count)	Копирование определенного количества count символов из str2 в строку str1
short random(short start, short end)	Генерирует случайное значение в диапазоне от start до end
char* getLocalTimeAndDate()	Возвращает текущее локальное время и дату

Объявление функций статической библиотеки генерируется автоматически.

7.4 Особенности алгоритма генерации кода

В языке KAD-2023 генерация кода строится на основе таблиц лексем и идентификаторов. Общая схема работы генератора кода представлена на рисунке 7.2.

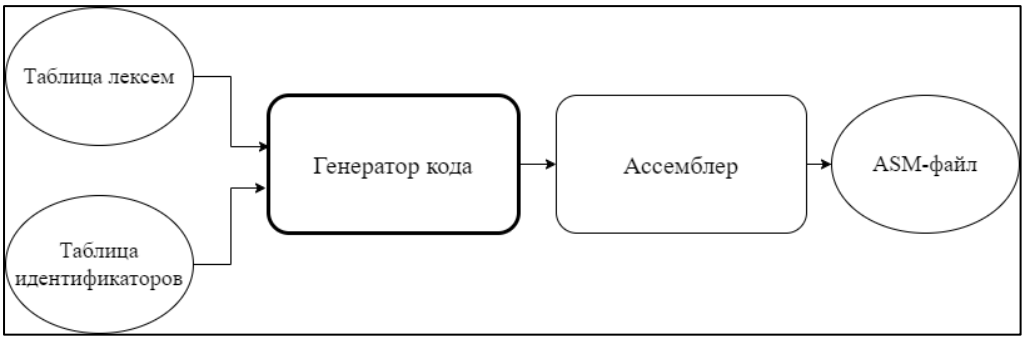


Рисунок 7.2 Структура генератора кода

7.5 Входные параметры генератора кода

На вход генератору кода поступают таблицы лексем и идентификаторов исходного код программы на языке KAD-2023. Результаты работы генератора кода выводятся в файл с расширением .asm.

7.6 Контрольный пример

Результат работы кода, сгенерированного на основе контрольного примера, представлен на рисунке 7.3

```
0
11
Тест
55
Sat Dec 16 15:02:16 2023

0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
Hi!
30
-6
Шестнадцатиричное число A в 10й сс:
10
Двоичное число 1010 в 10й сс:
10
```

Рисунок 7.3 – Результат работы кода контрольного примера

Результат генерации ассемблерного кода на основе контрольного примера из приложения А приведен в приложении Д.

8 Тестирование транслятора

8.1 Тестирование проверки на допустимость символов

В языке KAD-2023 не разрешается использовать запрещённые входным алфавитом символы. Результат использования запрещённого символа показан в таблице 8.1.

Таблица 8.1 - Тестирование проверки на допустимость символов

Исходный код	Диагностическое сообщение
main { $ }	Ошибка 110: [НЕДОПУСТИМЫЙ СИМВОЛ В ФАЙЛЕ -IN], строка 1, столбец 8

main {
write "test
}
	Ошибка 111: [НЕХВАТКА КАВЫЧКИ], строка 3, столбец 16

8.2 Тестирование лексического анализатора

На этапе лексического анализа в языке KAD-2023 могут возникнуть ошибки, описанные в пункте 3.7. Результаты тестирования лексического анализатора показаны в таблице 8.2.

Таблица 8.2 - Тестирование лексического анализатора

Исходный код	Диагностическое сообщение

main {
test123
}
	Ошибка на этапе лексического анализатора
	Ошибка 120: [ЛЕКСЕМА НЕРАСПОЗНАННА], строка 3, лексема 1

main {
var test;
}
	Ошибка на этапе лексического анализатора
	Ошибка 121: [ТИП ДАННЫХ ИДЕНТИФИКАТОРА НЕ ОПРЕДЕЛЕН], строка 3, лексема 2

main {
short var test;
short var test;
}
	Ошибка на этапе лексического анализатора
	Ошибка 131: [ПОПЫТКА ПЕРЕОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРЕМЕННОЙ], строка 4, лексема 3

main {
short test;
}
	Ошибка на этапе лексического анализатора
	Ошибка 132: [ТИП НЕ ОПРЕДЕЛЕН], строка 3, лексема 2

Таблица 8.2 - Тестирование лексического анализатора

Исходный код	Диагностическое сообщение
short function FindMaxLen(str param x, str param y){}	Ошибка 133: [ОТСУТСТВИЕ MAIN]

main {}
main {
short var test;
}
	Ошибка 134: [ОБНАРУЖЕННО НЕСКОЛЬКО ТОЧЕК ВХОДА MAIN]

8.3 Тестирование синтаксического анализатора

На этапе синтаксического анализа в языке KAD-2023 могут возникнуть ошибки, описанные в пункте 4.6. Результаты тестирования синтаксического анализатора показаны в таблице 8.3.

Таблица 8.3 - Тестирование синтаксического анализатора

Исходный код	Диагностическое сообщение

function main
{
short var test;
}
	600: строка 1, [НЕВЕРНАЯ СТРУКТУРА ПРОГРАММЫ]

main
{
return 1;
}
	601: строка 4, [ОШИБОЧНЫЙ ОПЕРАТОР]

main
{
short var test;
test = 1 + - 2;
}
	602: строка 4,[ОШИБКА В ВЫРАЖЕНИИ]

Таблица 8.3 (продолжение) - Тестирование синтаксического анализатора

Исходный код	Диагностическое сообщение

short function FindMaxLen(str param x,)
{
}
main {}
	603: строка 1,[ОШИБКА В ПАРАМЕТРАХ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ФУНКЦИИ]

short function FindMax(short param x)
{ return 1;}
main
{
short var res;
res = FindMax(1,)
}
	604: строка 6,[ОШИБКА В ПАРАМЕТРАХ ПРИ ВЫЗОВЕ ФУНКЦИИ]

short function FindMax(short param x)
{ return +;}
main
{
short var res;
res = FindMax(1)
}
	605: строка 2,[МОЖНО ИСПОЛЬЗОВАТЬ ТОЛЬКО ЛИТЕРАЛ ИЛИ ИДЕНТИФИКАТОР]

main
{
short str var test;
}
	606: строка 3,[ОШИБКА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПЕРЕМЕННОЙ]

main
{
if {1 > 0)
then {}
}
	607: строка 3,[ОШИБКА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ УСЛОВИЯ ПЕРЕХОДА]

Таблица 8.3 (окончание) - Тестирование синтаксического анализатора

main
{
short var a = -;
}
	608: строка 3,[ОШИБКА ПРИ НАЧАЛЬНОЙ ИНИЦИАЛИЗАЦИИ ПЕРЕМЕННОЙ]

main{
short var i = 0;
repeat(i < 10){
return 1;
}
}
	609: строка 3,[ОШИБКА В ТЕЛЕ ЦИКЛА]

8.4 Тестирование семантического анализатора

Итоги тестирования семантического анализатора на корректное обнаружение семантических ошибок приведены в таблице 8.4.

Таблица 8.4 - Тестирование семантического анализатора

Исходный код	Текст сообщения

main{
short var x = 125;
x = x + “test”;
}
	Ошибка 701: [ТИПЫ ДАННЫХ В ВЫРАЖЕНИИ НЕ СОВПАДАЮТ]

main{
short var x;
x = 5 / 0;
}
	Ошибка 700: [ДЕЛЕНИЕ НА НОЛЬ]

main{
str var y;
y = "test2" + “test3”;
}
	Ошибка 702: [НЕДОПУСТИМОЕ СТРОКОВОЕ ВЫРАЖЕНИЕ]

Таблица 8.4 - Тестирование семантического анализатора

str function Test(int param x){
return 0;
}
main {}
	Ошибка 703: [ТИП ФУНКЦИИ И ВОЗВРАЩАЕМОЕ ЗНАЧЕНИЕ НЕ СОВПАДАЮТ]

short function Test(short param x)
{return 0;}
main {
short var temp;
temp = Test("test");
}
	Ошибка 704: [НЕСОВПАДЕНИЕ ТИПОВ ПАРАМЕТРОВ]

short function Test(short param x)
{return 0;}
main {
short var temp;
temp = Test(1, 2);
}
	Ошибка 705: [КОЛИЧЕСТВО ПЕРЕДАВАЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕ СОВПАДАЕТ С ОЖИДАЕМЫМ]

main{
repeat(“str1” < “str2”){
}
}
	Ошибка 706: [НЕВЕРНОЕ УСЛОВНОЕ ВЫРАЖЕНИЕ]

Семантический анализ в языке KAD-2023 содержит множество проверок по семантическим правилам, описанным в пункте 1.16.

Заключение

В ходе выполнения курсовой работы был разработан транслятор и генератор кода для языка программирования KAD-2023 со всеми необходимыми компонентами. Таким образом, были выполнены основные задачи данной курсовой работы:

Сформулирована спецификация языка KAD-2023;

1. Разработаны конечные автоматы и важные алгоритмы на их основе для эффективной работы лексического анализатора;
2. Осуществлена программная реализация лексического анализатора, распознающего допустимые цепочки спроектированного языка;
3. Разработана контекстно-свободная, приведённая к нормальной форме Грейбах, грамматика для описания синтаксически верных конструкций языка;
4. Осуществлена программная реализация синтаксического анализатора;
5. Разработан семантический анализатор, осуществляющий проверку используемых инструкций на соответствие логическим правилам;
6. Разработан транслятор кода на язык ассемблера;
7. Проведено тестирование всех вышеперечисленных компонентов.

Окончательная версия языка KAD-2023 включает:

1. 2 типа данных;
2. Поддержка оператора вывода;
3. Возможность вызова 5 функций стандартной библиотеки;
4. Наличие 5 арифметических операторов для вычисления выражений;
5. Поддержка функций, операторов цикла и условия;
6. Структурированная и классифицированная система для обработки ошибок пользователя.

Проделанная работа позволила получить необходимое представление о структурах и процессах, использующихся при построении трансляторов, а также основные различия и преимущества тех или иных средств трансляции.

Список использованных источников

1. Вирт Н. Построение компиляторов/ Пер. с англ. Борисов Е. В., Чернышов Л. Н. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 192 с.: ил.

2. Грис Д. Конструирование компиляторов для цифровых вычислительных машин.: Пер. с англ. — М.: Мир, 1975.

3. Костельцев А. В. Построение интерпретаторов и компиляторов. СПб: Наука и Техника, 2001. — 224 стр. с ил.

4. Пратт Т. Языки программирования: разработка и реализация. Пер. с англ. — М.: Мир, 1979.

5. Хантер Р. Проектирование и конструирование компиляторов/ Пер. с англ.: Предисл. В. М. Савинкова. — М.: Финансы и статистика, 1984. — 232 с., ил.

6. Хендрикс Д. Компилятор языка Си для микроЭВМ: Пер. с англ. — М.: радио и связь, 1989. — 240 с.: ил.

Приложение А

Листинг 1. Код программы на языке KAD-2023

```
short function sum(short param first, short param second, short param
third){
     short var sumRes = first + second + third;
     return sumRes;
}
short function differenceInLength(str param strokeOne, str param
strokeTwo){
     short var lenOne = lenght(strokeOne);
     short var lenTwo = lenght(strokeTwo);
     short var res = lenOne - lenTwo;
     return res;
}
str function getHi(){
     str var hi = "Hi!";
     write hi;
     return hi;
}
main{
     #Пример работы арифметических операций
     short var a = -3;
     a = ((a + 7) * 6 / 3 - 4) % 2;
     write a;
     #Пример работы функции вычисления длины строки
     str var strB = "Тест строки";
     short var b = lenght(strB);
     write b;

     #Пример функции копирования строки
     str var strBCopy = copy(strBCopy, strB, 4);
     write strBCopy;

     #Функция получения случайного числа
     short var rand = random(0, 100);
     write rand;

     #Функция получения локальной даты
     str var date = getLocalTimeAndDate();
     write date;

     #Пример работы цикла
     short var i = 0;
     repeat(i<10){
          write i;
          i = i + 1;
     }

     str var h = getHi();
```

Листинг 1 (продолжение). Код программы на языке KAD-2023

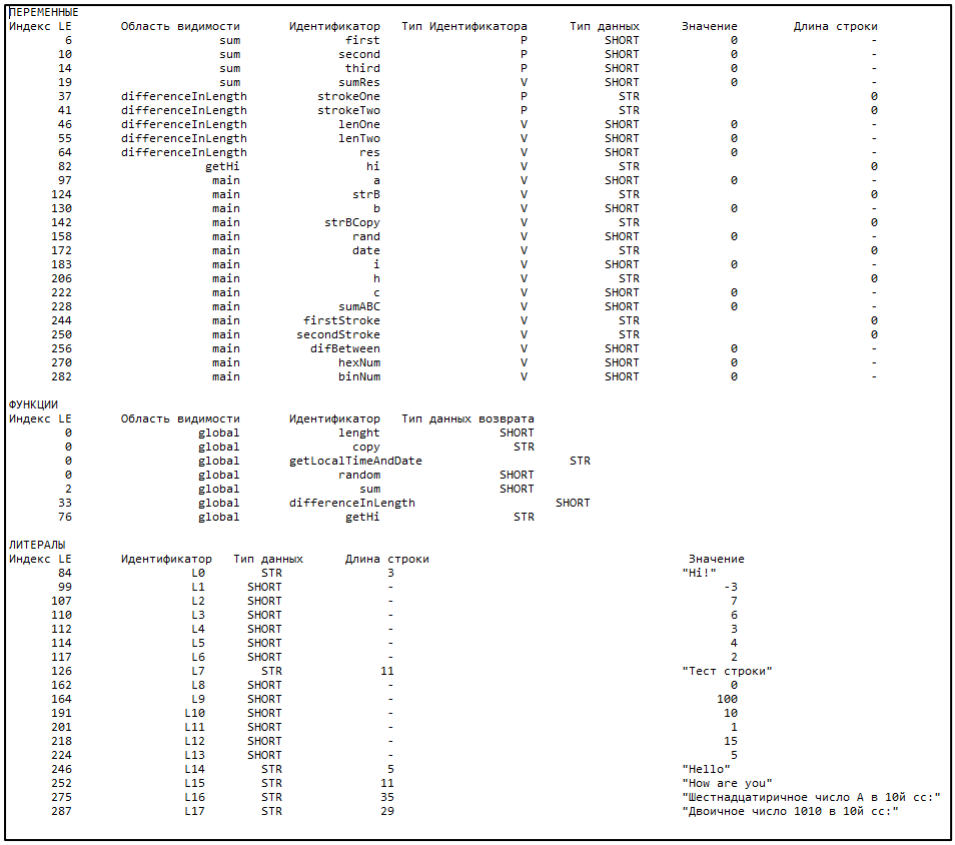
```
     #Вызов функции и передача целочисленных параметров
     a = 10;
     b = 15;
     short var c = 5;
     short var sumABC = sum(a, b, c);
     write sumABC;

     #Вызов функции и передача строковых параметров
     str var firstStroke = "Hello";
     str var secondStroke = "How are you";
     short var difBetween = differenceInLength(firstStroke,
secondStroke);
     write difBetween;

     #Шестнадцатиричное представление числа
     short var hexNum = hA;
     write "Шестнадцатиричное число A в 10й сс:";
     write hexNum;

     #Двоичное прелставление числа
     short var binNum = b1010;
     write "Двоичное число 1010 в 10й сс:";
     write binNum;
}
```

Приложение Б



ПЕРЕМЕННЫЕ

Индекс LE	Область видимости	Идентификатор	Тип Идентификатора	Тип данных	Значение	Длина строки
6	sum	first	P	SHORT	0	-
10	sum	second	P	SHORT	0	-
14	sum	third	P	SHORT	0	-
19	sum	sumRes	V	SHORT	0	-
37	differenceInLength	strokeOne	P	STR		0
41	differenceInLength	strokeTwo	P	STR		0
46	differenceInLength	lenOne	V	SHORT	0	-
55	differenceInLength	lenTwo	V	SHORT	0	-
64	differenceInLength	res	V	SHORT	0	-
82	getHi	hi	V	STR		0
97	main	a	V	SHORT	0	-
124	main	strB	V	STR		0
130	main	b	V	SHORT	0	-
142	main	strBCopy	V	STR		0
158	main	rand	V	SHORT	0	-
172	main	date	V	STR		0
183	main	i	V	SHORT	0	-
206	main	h	V	STR		0
222	main	c	V	SHORT	0	-
228	main	sumABC	V	SHORT	0	-
244	main	firstStroke	V	STR		0
250	main	secondStroke	V	STR		0
256	main	difBetween	V	SHORT	0	-
270	main	hexNum	V	SHORT	0	-
282	main	binNum	V	SHORT	0	-

ФУНКЦИИ

Индекс LE	Область видимости	Идентификатор	Тип данных возврата
0	global	lenght	SHORT
0	global	copy	STR
0	global	getLocalTimeAndDate	STR
0	global	random	SHORT
2	global	sum	SHORT
33	global	differenceInLength	SHORT
76	global	getHi	STR

ЛИТЕРАЛЫ

Индекс LE	Идентификатор	Тип данных	Длина строки	Значение
84	L0	STR	3	"Hi!"
99	L1	SHORT	-	-3
107	L2	SHORT	-	7
110	L3	SHORT	-	6
112	L4	SHORT	-	3
114	L5	SHORT	-	4
117	L6	SHORT	-	2
126	L7	STR	11	"Тест строки"
162	L8	SHORT	-	0
164	L9	SHORT	-	100
191	L10	SHORT	-	10
201	L11	SHORT	-	1
218	L12	SHORT	-	15
224	L13	SHORT	-	5
246	L14	STR	5	"Hello"
252	L15	STR	11	"How are you"
275	L16	STR	35	"Шестнадцатиричное число A в 10й сс:"
287	L17	STR	29	"Двоичное число 1010 в 10й сс:"

Рисунок 1. - Таблица идентификаторов после контрольного примера

```
1       tfi(tpi,tpi,tpi){
2       tvi=i+i+i;
3       ri;
4       }
5
6       tfi(tpi,tpi){
7       tvi=i(i);
8       tvi=i(i);
9       tvi=i-i;
10      ri;
11      }
12
13      tfi(){
14      tvi=l;
15      wi;
16      ri;
17      }
18
19
20
21      m{
22
23      tvi=l;
24      i=((i+l)*l/l-l)%l;
25      wi;
26
27
28      tvi=l;
29      tvi=i(i);
30      wi;
31
32
33      tvi=i(i,i,l);
34      wi;
35
36
37      tvi=i(l,l);
38      wi;
39
40
41      tvi=i();
42      wi;
43
44
45      tvi=l;
46      ~(i<l){
47      wi;
48      i=i+l;
49      }
50
51      tvi=i();
52
53
54      i=l;
55      i=l;
56      tvi=l;
57      tvi=i(i,i,i);
58      wi;
59
60
61      tvi=l;
62      tvi=l;
63      tvi=i(i,i);
64      wi;
65
66
67      tvi=l;
68      wl;
69      wi;
70      tvi=l;
71      wl;
72      wi;
75      }$
```

Рисунок 2. - Таблица лексем после контрольного примера

Приложение В

Листинг 1. Грамматика языка KAD-2022

```
Greibach greibach(NS('S'), TS('$'), 12,
     Rule(NS('S'), GRB_ERROR_SERIES + 0, //Неверная структура программы
          3,    // m{N}S | tfi(F){NrU;}S | пустой переход
          Rule::Chain(5, TS('m'), TS('{'), NS('N'), TS('}'), NS('S')),
          Rule::Chain(13, TS('t'), TS('f'), TS('i'), TS('('), NS('F'),
TS(')'), TS('{'), NS('N'), TS('r'), NS('U'), TS(';'), TS('}'), NS('S')),
          Rule::Chain()
     ),

     Rule(NS('N'), GRB_ERROR_SERIES + 1,   //ошибочный оператор
          5,    // tY;N |  i=E;N | wU;N | ~K{N}N | ?KJN | пустой переход
          Rule::Chain(4, TS('t'), NS('Y'), TS(';'), NS('N')),
          Rule::Chain(5, TS('i'), TS('='), NS('E'), TS(';'), NS('N')),
          Rule::Chain(4, TS('w'), NS('E'), TS(';'), NS('N')),
          Rule::Chain(4, TS('~'), NS('K'), NS('Z'), NS('N')),
          Rule::Chain()
     ),
     Rule(NS('E'), GRB_ERROR_SERIES + 2,        // Ошибка в выражении
          5, // iM | lM | (E)M | i(W)M
          Rule::Chain(2, TS('i'), NS('M')),
          Rule::Chain(2, TS('l'), NS('M')),
          Rule::Chain(4, TS('('), NS('E'), TS(')'), NS('M')),
          Rule::Chain(5, TS('i'), TS('('), NS('W'), TS(')'), NS('M')),
          Rule::Chain(4, TS('i'), TS('('), TS(')'), NS('M'))
     ),
     Rule(NS('M'), GRB_ERROR_SERIES + 2,        //   Ошибка в выражении
          6,    // #E | пустой переход
          Rule::Chain(2, TS('+'), NS('E')),
          Rule::Chain(2, TS('-'), NS('E')),
          Rule::Chain(2, TS('*'), NS('E')),
          Rule::Chain(2, TS('/'), NS('E')),
          Rule::Chain(2, TS('%'), NS('E')),
          Rule::Chain()
     ),
     Rule(NS('F'), GRB_ERROR_SERIES + 3,        // Ошибка в параметрах при
определении функции
          3, // tP | tP,F
          Rule::Chain(2, TS('t'), NS('P')),
          Rule::Chain(4, TS('t'), NS('P'), TS(','), NS('F')),
          Rule::Chain()
     ),
     Rule(NS('P'), GRB_ERROR_SERIES + 3,        // Ошибка в параметрах при
определении функции
          1, // pi
          Rule::Chain(2, TS('p'), TS('i'))
     ),
```

Листинг 1 (продолжение). Грамматика языка KAD-2022

```
Rule(NS('W'), GRB_ERROR_SERIES + 4,          // Ошибка в параметрах
при вызове функции
          4, // i | l | i,W | l,W
          Rule::Chain(1, TS('i')),
          Rule::Chain(1, TS('l')),
          Rule::Chain(3, TS('i'), TS(','), NS('W')),
          Rule::Chain(3, TS('l'), TS(','), NS('W'))
     ),
     Rule(NS('U'), GRB_ERROR_SERIES + 5,     // Только литерал или
идентификатор
          6,   // l | i
          Rule::Chain(1, TS('l')),
          Rule::Chain(1, TS('i')),
          Rule::Chain(2, TS('l'), NS('U')),
          Rule::Chain(2, TS('i'), NS('U')),
          Rule::Chain(3, TS('i'), TS(','), NS('U')),
          Rule::Chain(3, TS('l'), TS(','), NS('U'))
     ),

     Rule(NS('Y'), GRB_ERROR_SERIES + 6,     // Ошибка при
определении переменной
          2,   // vi || vi = L
          Rule::Chain(2, TS('v'), TS('i')),
          Rule::Chain(4, TS('v'), TS('i'), TS('='), NS('L'))
     ),

     Rule(NS('K'), GRB_ERROR_SERIES + 7,     // Ошибка при
определении условия перехода
          2,   // (U<U) | (U>U)
          Rule::Chain(5, TS('('), NS('U'), TS('<'), NS('U'),
TS(')')),
          Rule::Chain(5, TS('('), NS('U'), TS('>'), NS('U'),
TS(')'))
     ),
     Rule(NS('L'), GRB_ERROR_SERIES + 8,     // Ошибка при начальной
инициализации
          25,  //vi = l || vi = i || vi = i(i)
          Rule::Chain(1, TS('i')),
          Rule::Chain(1, TS('l')),
          Rule::Chain(4, TS('i'), TS('('), NS('U'), TS(')')),
          Rule::Chain(3, TS('i'), TS('('), TS(')')),
          Rule::Chain(2, TS('i'), NS('L')),
          Rule::Chain(2, TS('l'), NS('L')),
          Rule::Chain(2, TS('+'), TS('i')),
          Rule::Chain(2, TS('+'), TS('l')),
          Rule::Chain(3, TS('+'), TS('i'), NS('L')),
          Rule::Chain(3, TS('+'), TS('l'), NS('L')),
          Rule::Chain(2, TS('-'), TS('i')),
          Rule::Chain(2, TS('-'), TS('l')),
```

Листинг 1 (окончание). Грамматика языка KAD-2022

```
        Rule::Chain(3, TS('-'), TS('i'), NS('L')),
        Rule::Chain(3, TS('-'), TS('l'), NS('L')),
        Rule::Chain(2, TS('*'), TS('i')),
        Rule::Chain(2, TS('*'), TS('l')),
        Rule::Chain(3, TS('*'), TS('i'), NS('L')),
        Rule::Chain(3, TS('*'), TS('l'), NS('L')),
        Rule::Chain(2, TS('/'), TS('i')),
        Rule::Chain(2, TS('/'), TS('l')),
        Rule::Chain(3, TS('/'), TS('i'), NS('L')),
        Rule::Chain(3, TS('/'), TS('l'), NS('L')),
        Rule::Chain(2, TS('%'), TS('i')),
        Rule::Chain(2, TS('%'), TS('l')),
        Rule::Chain(3, TS('%'), TS('i'), NS('L')),
        Rule::Chain(3, TS('%'), TS('l'), NS('L'))
    ),

    Rule(NS('Z'), GRB_ERROR_SERIES + 9,     //ошибка в теле цикла
        1,
        Rule::Chain(3, TS('{'), NS('N'), TS('}'))
    )
```

Листинг 2. Структура магазинного автомата

```
struct MFSTState// состояние автомата (для сохранения)
{
	short posInLent;	// позиция на ленте
	short nRule;			// номер текущего правила
	short nRuleChain;		// номер текущей цепочки, текущего правила
	MFSTSTSTACK st; // стек автомата
	MFSTState();
	MFSTState(short posInLent,	// позиция на ленте
		MFSTSTSTACK a_steck,	// стек автомата
		short currentChain);	// номер текущей цепочки, текущего
правила

	MFSTState(short posInLent,	// позиция на ленте
		MFSTSTSTACK a_stack,	// стек автомата
		short currentRule,		// номер текущего правила
		short currentChain);	// номер текущей цепочки, текущего
правила

};

struct MFST // магазинный автомат
{
	enum RC_STEP //код возврата функции step
	{
		NS_OK,			// найдено правило и цепочка, цепочка
записана в стек
		NS_NORULE,	// не найдено правило грамматики (ошибка в
грамматике)
		NS_NORULECHAIN, // не найдена походящая цепочка правила (ошибка
в исходном коде)
		NS_ERROR,	// неизвесный нетерминальный символ грамматики
		TS_OK,			// тек. символ ленты == вершине стека,
продвинулась лента, pop стека
		TS_NOK,			// тек. символ ленты != вершине стека,
восстановленно состояние
		LENTA_END,	// теущая позиция ленты >= lenta_size
		SURPRISE	// неожиданный код возврата (ошибка в step)
	};

	struct MFST_Diagnosis // диагностика
	{
		short posInLent;	// позиция на ленте
		RC_STEP	rc_step;		// код завершения шага
		short ruleNum;		// номер правила
		short nrule_chain;		// номер цепочки правила
		MFST_Diagnosis();
		MFST_Diagnosis(short posInLent, RC_STEP rc_step, short ruleNum,
short ruleChainNum);
	} diagnosis[MFST_DIAGN_NUMBER]; // последние самые глубокие
сообщения

	GRBALPHABET* lenta;			// перекодированная
(TS/NS) лента (из LEX)
	short currentPosInLent;			// текущая позиция на
ленте
	short currentRule;			// номер текущего правила
```

Листинг 2 (продолжение). Структура магазинного автомата

```
short currentRuleChain;                        // номер текущей цепочки,
текущего правила
      short lenta_size;                              // размер ленты
      GRB::Greibach grebach;                         // грамматика Грейбах
      LT::LexTable lexTable;
      MFSTSTSTACK st;                                // стек автомата
      std::stack<MFSTState> storestate;     // стек для сохранения
состояний

      MFST();
      MFST(const LT::LexTable& lexTable, GRB::Greibach grebach);

      char* getCSt(char* buf);
      //получить содержимое стека
      char* getCLenta(char* buf, short pos, short n = 25);  //лента: n
символов, начиная с pos
      char* getDiagnosis(short n, char* buf);
      //получить n-ую строку диагностики или '\0'

      bool savestate(std::ostream* stream); //сохранить состояние автомата
      bool resetstate(std::ostream* stream);     //восстановить состояние
автомата
      bool push_chain(GRB::Rule::Chain chain);

      RC_STEP step(std::ostream* stream);        //выполнить шаг автомата
      bool start(std::ostream* stream);          //запустить автомат
      bool savedDiagnosis(RC_STEP prc_step);

      void printRules(std::ostream* stream);     //вывести
последовательность правил

      struct Deducation          // вывод
      {
            short stepsCount;                // количество шагов в выводе
            short* nRules;                   // номер правила грамматики
            short* nChainsOfRules;           // номер цепочек правил
грамматики

            Deducation()
            {
                  this->stepsCount = 0;
                  this->nRules = 0;
                  this->nChainsOfRules = 0;
            }
      }deducation;

      bool saveoutputTree();                 // сохранить дерево вывода
};
```

Листинг 3. Структура грамматики Грейбаха

```
struct Greibach // грамматика Грейбах
{
      short size;                        // количество правил
      GRBALPHABET startN;          // стартовый символ
      GRBALPHABET stbottomT;   // дно стека
      Rule* rules;                  // множество правил

      Greibach()
      {
            size = 0;
            startN = 0;
            stbottomT = 0;
            rules = 0;
      };
      Greibach(GRBALPHABET pstartN,    // стартовый символ
            GRBALPHABET pstbottomT,          // дно стека
            short psize,                     // количество правил
            Rule r, ...);                    // правила

      short getRule(                   // получить правило, возвращается
номер правила или -1
            GRBALPHABET pnn,      // левый символ правила
            Rule& prule);               // возвращаемое правило грамматики

      Rule getRule(short n);           // получить правило по номеру
};
```

Листинг 4. Разбор исходного кода синтаксическим анализатором

```
0   :S->tfi(F){NrU;}S    tfi(tpi,tpi,tpi){tvi=i+i+      S$
1   : SAVESTATE:          1
1   :                     tfi(tpi,tpi,tpi){tvi=i+i+      tfi(F){NrU;}S$
2   :                     fi(tpi,tpi,tpi){tvi=i+i+i      fi(F){NrU;}S$
3   :                     i(tpi,tpi,tpi){tvi=i+i+i;      i(F){NrU;}S$
4   :                     (tpi,tpi,tpi){tvi=i+i+i;r      (F){NrU;}S$
5   :                     tpi,tpi,tpi){tvi=i+i+i;ri      F){NrU;}S$
6   :F->tP                tpi,tpi,tpi){tvi=i+i+i;ri      F){NrU;}S$
7   : SAVESTATE:          2
7   :                     tpi,tpi,tpi){tvi=i+i+i;ri      tP){NrU;}S$
8   :                     pi,tpi,tpi){tvi=i+i+i;ri;      P){NrU;}S$
9   :P->pi                pi,tpi,tpi){tvi=i+i+i;ri;      P){NrU;}S$
10  : SAVESTATE:          3
10  :                     pi,tpi,tpi){tvi=i+i+i;ri;      pi){NrU;}S$
11  :                     i,tpi,tpi){tvi=i+i+i;ri;}      i){NrU;}S$
12  :                     ,tpi,tpi){tvi=i+i+i;ri;}m      ){NrU;}S$
13  : TNS_NS_NORULECHAIN/NS_NORULE
13  : RESTATE
13  :                     pi,tpi,tpi){tvi=i+i+i;ri;      P){NrU;}S$
14  : TNS_NS_NORULECHAIN/NS_NORULE
```

```
14  : RESTATE
14  :                       tpi,tpi,tpi){tvi=i+i+i;ri      F){NrU;}S$
15  :F->tP,F                tpi,tpi,tpi){tvi=i+i+i;ri      F){NrU;}S$
16  : SAVESTATE:             2
16  :                       tpi,tpi,tpi){tvi=i+i+i;ri      tP,F){NrU;}S$
17  :                       pi,tpi,tpi){tvi=i+i+i;ri;      P,F){NrU;}S$
18  :P->pi                  pi,tpi,tpi){tvi=i+i+i;ri;      P,F){NrU;}S$
19  : SAVESTATE:             3
19  :                       pi,tpi,tpi){tvi=i+i+i;ri;      pi,F){NrU;}S$
20  :                       i,tpi,tpi){tvi=i+i+i;ri;}      i,F){NrU;}S$
21  :                       ,tpi,tpi){tvi=i+i+i;ri;}m      ,F){NrU;}S$
22  :                       tpi,tpi){tvi=i+i+i;ri;}m{      F){NrU;}S$
23  :F->tP                  tpi,tpi){tvi=i+i+i;ri;}m{      F){NrU;}S$
24  : SAVESTATE:             4
24  :                       tpi,tpi){tvi=i+i+i;ri;}m{      tP){NrU;}S$
25  :                       pi,tpi){tvi=i+i+i;ri;}m{t      P){NrU;}S$
26  :P->pi                  pi,tpi){tvi=i+i+i;ri;}m{t      P){NrU;}S$
27  : SAVESTATE:             5
27  :                       pi,tpi){tvi=i+i+i;ri;}m{t      pi){NrU;}S$
28  :                       i,tpi){tvi=i+i+i;ri;}m{tv      i){NrU;}S$
29  :                       ,tpi){tvi=i+i+i;ri;}m{tvi      ){NrU;}S$
30  : TNS_NS_NORULECHAIN/NS_NORULE
30  : RESTATE
30  :                       pi,tpi){tvi=i+i+i;ri;}m{t      P){NrU;}S$
31  : TNS_NS_NORULECHAIN/NS_NORULE
31  : RESTATE
31  :                       tpi,tpi){tvi=i+i+i;ri;}m{      F){NrU;}S$
32  :F->tP,F                tpi,tpi){tvi=i+i+i;ri;}m{      F){NrU;}S$
33  : SAVESTATE:             4
33  :                       tpi,tpi){tvi=i+i+i;ri;}m{      tP,F){NrU;}S$
34  :                       pi,tpi){tvi=i+i+i;ri;}m{t      P,F){NrU;}S$
35  :P->pi                  pi,tpi){tvi=i+i+i;ri;}m{t      P,F){NrU;}S$
36  : SAVESTATE:             5
36  :                       pi,tpi){tvi=i+i+i;ri;}m{t      pi,F){NrU;}S$
37  :                       i,tpi){tvi=i+i+i;ri;}m{tv      i,F){NrU;}S$
38  :                       ,tpi){tvi=i+i+i;ri;}m{tvi      ,F){NrU;}S$
39  :                       tpi){tvi=i+i+i;ri;}m{tvi=      F){NrU;}S$
40  :F->tP                  tpi){tvi=i+i+i;ri;}m{tvi=      F){NrU;}S$
41  : SAVESTATE:             6
41  :                       tpi){tvi=i+i+i;ri;}m{tvi=      tP){NrU;}S$
42  :                       pi){tvi=i+i+i;ri;}m{tvi=l      P){NrU;}S$
43  :P->pi                  pi){tvi=i+i+i;ri;}m{tvi=l      P){NrU;}S$
44  : SAVESTATE:             7
44  :                       pi){tvi=i+i+i;ri;}m{tvi=l      pi){NrU;}S$
45  :                       i){tvi=i+i+i;ri;}m{tvi=l;      i){NrU;}S$
46  :                       ){tvi=i+i+i;ri;}m{tvi=l;i      ){NrU;}S$
47  :                       {tvi=i+i+i;ri;}m{tvi=l;i=      {NrU;}S$
48  :                       tvi=i+i+i;ri;}m{tvi=l;i=(      NrU;}S$
49  :N->tY;N                tvi=i+i+i;ri;}m{tvi=l;i=(      NrU;}S$
```

```
50  : SAVESTATE:          8
50  :                    tvi=i+i+i;ri;}m{tvi=l;i=(     tY;NrU;}S$
51  :                    vi=i+i+i;ri;}m{tvi=l;i=((     Y;NrU;}S$
52  :Y->vi               vi=i+i+i;ri;}m{tvi=l;i=((     Y;NrU;}S$
53  : SAVESTATE:          9
53  :                    vi=i+i+i;ri;}m{tvi=l;i=((     vi;NrU;}S$
54  :                    i=i+i+i;ri;}m{tvi=l;i=((i     i;NrU;}S$
55  :                    =i+i+i;ri;}m{tvi=l;i=((i+     ;NrU;}S$
56  : TNS_NS_NORULECHAIN/NS_NORULE
56  : RESTATE
56  :                    vi=i+i+i;ri;}m{tvi=l;i=((     Y;NrU;}S$
57  :Y->vi=L             vi=i+i+i;ri;}m{tvi=l;i=((     Y;NrU;}S$
58  : SAVESTATE:          9
58  :                    vi=i+i+i;ri;}m{tvi=l;i=((     vi=L;NrU;}S$
59  :                    i=i+i+i;ri;}m{tvi=l;i=((i     i=L;NrU;}S$
60  :                    =i+i+i;ri;}m{tvi=l;i=((i+     =L;NrU;}S$
61  :                    i+i+i;ri;}m{tvi=l;i=((i+l     L;NrU;}S$
62  :L->i                i+i+i;ri;}m{tvi=l;i=((i+l     L;NrU;}S$
63  : SAVESTATE:          10
63  :                    i+i+i;ri;}m{tvi=l;i=((i+l     i;NrU;}S$
64  :                    +i+i;ri;}m{tvi=l;i=((i+l)     ;NrU;}S$
65  : TNS_NS_NORULECHAIN/NS_NORULE
65  : RESTATE
65  :                    i+i+i;ri;}m{tvi=l;i=((i+l     L;NrU;}S$
66  :L->i(U)             i+i+i;ri;}m{tvi=l;i=((i+l     L;NrU;}S$
67  : SAVESTATE:          10
67  :                    i+i+i;ri;}m{tvi=l;i=((i+l     i(U);NrU;}S$
68  :                    +i+i;ri;}m{tvi=l;i=((i+l)     (U);NrU;}S$
69  : TNS_NS_NORULECHAIN/NS_NORULE
69  : RESTATE
69  :                    i+i+i;ri;}m{tvi=l;i=((i+l     L;NrU;}S$
70  :L->i()              i+i+i;ri;}m{tvi=l;i=((i+l     L;NrU;}S$
71  : SAVESTATE:          10
71  :                    i+i+i;ri;}m{tvi=l;i=((i+l     i();NrU;}S$
72  :                    +i+i;ri;}m{tvi=l;i=((i+l)     ();NrU;}S$
73  : TNS_NS_NORULECHAIN/NS_NORULE
73  : RESTATE
73  :                    i+i+i;ri;}m{tvi=l;i=((i+l     L;NrU;}S$
74  :L->iL               i+i+i;ri;}m{tvi=l;i=((i+l     L;NrU;}S$
75  : SAVESTATE:          10
75  :                    i+i+i;ri;}m{tvi=l;i=((i+l     iL;NrU;}S$
76  :                    +i+i;ri;}m{tvi=l;i=((i+l)     L;NrU;}S$
77  :L->+i               +i+i;ri;}m{tvi=l;i=((i+l)     L;NrU;}S$
78  : SAVESTATE:          11
78  :                    +i+i;ri;}m{tvi=l;i=((i+l)     +i;NrU;}S$
79  :                    i+i;ri;}m{tvi=l;i=((i+l)*     i;NrU;}S$
80  :                    +i;ri;}m{tvi=l;i=((i+l)*l     ;NrU;}S$
81  : TNS_NS_NORULECHAIN/NS_NORULE
81  : RESTATE
```

```
81  :                       +i+i;ri;}m{tvi=l;i=((i+l)      L;NrU;}S$
82  :L->+l                  +i+i;ri;}m{tvi=l;i=((i+l)      L;NrU;}S$
83  : SAVESTATE:             11
83  :                       +i+i;ri;}m{tvi=l;i=((i+l)      +l;NrU;}S$
84  :                       i+i;ri;}m{tvi=l;i=((i+l)*      l;NrU;}S$
85  : TNS_NS_NORULECHAIN/NS_NORULE
85  : RESTATE
85  :                       +i+i;ri;}m{tvi=l;i=((i+l)      L;NrU;}S$
86  :L->+iL                 +i+i;ri;}m{tvi=l;i=((i+l)      L;NrU;}S$
87  : SAVESTATE:             11
87  :                       +i+i;ri;}m{tvi=l;i=((i+l)      +iL;NrU;}S$
88  :                       i+i;ri;}m{tvi=l;i=((i+l)*      iL;NrU;}S$
89  :                       +i;ri;}m{tvi=l;i=((i+l)*l      L;NrU;}S$
90  :L->+i                  +i;ri;}m{tvi=l;i=((i+l)*l      L;NrU;}S$
91  : SAVESTATE:             12
91  :                       +i;ri;}m{tvi=l;i=((i+l)*l      +i;NrU;}S$
92  :                       i;ri;}m{tvi=l;i=((i+l)*l/      i;NrU;}S$
93  :                       ;ri;}m{tvi=l;i=((i+l)*l/l      ;NrU;}S$
94  :                       ri;}m{tvi=l;i=((i+l)*l/l-      NrU;}S$
95  :N->                    ri;}m{tvi=l;i=((i+l)*l/l-      NrU;}S$
96  : SAVESTATE:             13
96  :                       ri;}m{tvi=l;i=((i+l)*l/l-      rU;}S$
97  :                       i;}m{tvi=l;i=((i+l)*l/l-l      U;}S$
98  :U->i                   i;}m{tvi=l;i=((i+l)*l/l-l      U;}S$
99  : SAVESTATE:             14
99  :                       i;}m{tvi=l;i=((i+l)*l/l-l      i;}S$
100 :                       ;}m{tvi=l;i=((i+l)*l/l-l)      ;}S$

101 :                       }m{tvi=l;i=((i+l)*l/l-l)%      }S$
102 :                       m{tvi=l;i=((i+l)*l/l-l)%l      S$
103 :S->m{N}S               m{tvi=l;i=((i+l)*l/l-l)%l      S$
104 : SAVESTATE:             15
104 :                       m{tvi=l;i=((i+l)*l/l-l)%l      m{N}S$
105 :                       {tvi=l;i=((i+l)*l/l-l)%l;      {N}S$
106 :                       tvi=l;i=((i+l)*l/l-l)%l;w      N}S$
107 :N->tY;N                tvi=l;i=((i+l)*l/l-l)%l;w      N}S$
108 : SAVESTATE:             16
108 :                       tvi=l;i=((i+l)*l/l-l)%l;w      tY;N}S$
109 :                       vi=l;i=((i+l)*l/l-l)%l;wi      Y;N}S$
110 :Y->vi                  vi=l;i=((i+l)*l/l-l)%l;wi      Y;N}S$
111 : SAVESTATE:             17
111 :                       vi=l;i=((i+l)*l/l-l)%l;wi      vi;N}S$
112 :                       i=l;i=((i+l)*l/l-l)%l;wi;      i;N}S$
113 :                       =l;i=((i+l)*l/l-l)%l;wi;t      ;N}S$
114 : TNS_NS_NORULECHAIN/NS_NORULE
114 : RESTATE
114 :                       vi=l;i=((i+l)*l/l-l)%l;wi      Y;N}S$
115 :Y->vi=L                vi=l;i=((i+l)*l/l-l)%l;wi      Y;N}S$
116 : SAVESTATE:             17
```

```
116 :                   vi=l;i=((i+l)*l/l-l)%l;wi     vi=L;N}S$
117 :                   i=l;i=((i+l)*l/l-l)%l;wi;     i=L;N}S$
118 :                   =l;i=((i+l)*l/l-l)%l;wi;t     =L;N}S$
119 :                   l;i=((i+l)*l/l-l)%l;wi;tv     L;N}S$
120 :L->l               l;i=((i+l)*l/l-l)%l;wi;tv     L;N}S$
121 : SAVESTATE:         18
121 :                   l;i=((i+l)*l/l-l)%l;wi;tv     l;N}S$
122 :                   ;i=((i+l)*l/l-l)%l;wi;tvi     ;N}S$
123 :                   i=((i+l)*l/l-l)%l;wi;tvi=     N}S$
124 :N->i=E;N           i=((i+l)*l/l-l)%l;wi;tvi=     N}S$
125 : SAVESTATE:         19
125 :                   i=((i+l)*l/l-l)%l;wi;tvi=     i=E;N}S$
126 :                   =((i+l)*l/l-l)%l;wi;tvi=l     =E;N}S$
127 :                   ((i+l)*l/l-l)%l;wi;tvi=l;     E;N}S$
128 :E->(E)M            ((i+l)*l/l-l)%l;wi;tvi=l;     E;N}S$
129 : SAVESTATE:         20
129 :                   ((i+l)*l/l-l)%l;wi;tvi=l;     (E)M;N}S$
130 :                   (i+l)*l/l-l)%l;wi;tvi=l;t     E)M;N}S$
131 :E->(E)M            (i+l)*l/l-l)%l;wi;tvi=l;t     E)M;N}S$
132 : SAVESTATE:         21
132 :                   (i+l)*l/l-l)%l;wi;tvi=l;t     (E)M)M;N}S$
133 :                   i+l)*l/l-l)%l;wi;tvi=l;tv     E)M)M;N}S$
134 :E->iM              i+l)*l/l-l)%l;wi;tvi=l;tv     E)M)M;N}S$
135 : SAVESTATE:         22
135 :                   i+l)*l/l-l)%l;wi;tvi=l;tv     iM)M)M;N}S$
136 :                   +l)*l/l-l)%l;wi;tvi=l;tvi     M)M)M;N}S$
137 :M->+E              +l)*l/l-l)%l;wi;tvi=l;tvi     M)M)M;N}S$
138 : SAVESTATE:         23
138 :                   +l)*l/l-l)%l;wi;tvi=l;tvi     +E)M)M;N}S$
139 :                   l)*l/l-l)%l;wi;tvi=l;tvi=     E)M)M;N}S$
140 :E->lM              l)*l/l-l)%l;wi;tvi=l;tvi=     E)M)M;N}S$
141 : SAVESTATE:         24
141 :                   l)*l/l-l)%l;wi;tvi=l;tvi=     lM)M)M;N}S$
142 :                   )*l/l-l)%l;wi;tvi=l;tvi=i     M)M)M;N}S$
143 :M->                )*l/l-l)%l;wi;tvi=l;tvi=i     M)M)M;N}S$
144 : SAVESTATE:         25
144 :                   )*l/l-l)%l;wi;tvi=l;tvi=i     )M)M;N}S$
145 :                   *l/l-l)%l;wi;tvi=l;tvi=i(     M)M;N}S$
146 :M->*E              *l/l-l)%l;wi;tvi=l;tvi=i(     M)M;N}S$
147 : SAVESTATE:         26
147 :                   *l/l-l)%l;wi;tvi=l;tvi=i(     *E)M;N}S$
148 :                   l/l-l)%l;wi;tvi=l;tvi=i(i     E)M;N}S$
149 :E->lM              l/l-l)%l;wi;tvi=l;tvi=i(i     E)M;N}S$
150 : SAVESTATE:         27
150 :                   l/l-l)%l;wi;tvi=l;tvi=i(i     lM)M;N}S$
151 :                   /l-l)%l;wi;tvi=l;tvi=i(i)     M)M;N}S$
152 :M->/E              /l-l)%l;wi;tvi=l;tvi=i(i)     M)M;N}S$
153 : SAVESTATE:         28
153 :                   /l-l)%l;wi;tvi=l;tvi=i(i)     /E)M;N}S$
```

```
154 :                    l-l)%l;wi;tvi=l;tvi=i(i);     E)M;N}S$
155 :E->lM               l-l)%l;wi;tvi=l;tvi=i(i);     E)M;N}S$
156 : SAVESTATE:          29
156 :                    l-l)%l;wi;tvi=l;tvi=i(i);     lM)M;N}S$
157 :                    -l)%l;wi;tvi=l;tvi=i(i);w     M)M;N}S$
158 :M->-E               -l)%l;wi;tvi=l;tvi=i(i);w     M)M;N}S$
159 : SAVESTATE:          30
159 :                    -l)%l;wi;tvi=l;tvi=i(i);w     -E)M;N}S$
160 :                    l)%l;wi;tvi=l;tvi=i(i);wi     E)M;N}S$
161 :E->lM               l)%l;wi;tvi=l;tvi=i(i);wi     E)M;N}S$
162 : SAVESTATE:          31
162 :                    l)%l;wi;tvi=l;tvi=i(i);wi     lM)M;N}S$
163 :                    )%l;wi;tvi=l;tvi=i(i);wi;     M)M;N}S$
164 :M->                 )%l;wi;tvi=l;tvi=i(i);wi;     M)M;N}S$
165 : SAVESTATE:          32
165 :                    )%l;wi;tvi=l;tvi=i(i);wi;     )M;N}S$
166 :                    %l;wi;tvi=l;tvi=i(i);wi;t     M;N}S$
167 :M->%E               %l;wi;tvi=l;tvi=i(i);wi;t     M;N}S$
168 : SAVESTATE:          33
168 :                    %l;wi;tvi=l;tvi=i(i);wi;t     %E;N}S$
169 :                    l;wi;tvi=l;tvi=i(i);wi;tv     E;N}S$
170 :E->lM               l;wi;tvi=l;tvi=i(i);wi;tv     E;N}S$
171 : SAVESTATE:          34
171 :                    l;wi;tvi=l;tvi=i(i);wi;tv     lM;N}S$
172 :                    ;wi;tvi=l;tvi=i(i);wi;tvi     M;N}S$
173 :M->                 ;wi;tvi=l;tvi=i(i);wi;tvi     M;N}S$
174 : SAVESTATE:          35
174 :                    ;wi;tvi=l;tvi=i(i);wi;tvi     ;N}S$
175 :                    wi;tvi=l;tvi=i(i);wi;tvi=     N}S$
176 :N->wE;N             wi;tvi=l;tvi=i(i);wi;tvi=     N}S$
177 : SAVESTATE:          36
177 :                    wi;tvi=l;tvi=i(i);wi;tvi=     wE;N}S$
178 :                    i;tvi=l;tvi=i(i);wi;tvi=i     E;N}S$
179 :E->iM               i;tvi=l;tvi=i(i);wi;tvi=i     E;N}S$
180 : SAVESTATE:          37
180 :                    i;tvi=l;tvi=i(i);wi;tvi=i     iM;N}S$
181 :                    ;tvi=l;tvi=i(i);wi;tvi=i(     M;N}S$
182 :M->                 ;tvi=l;tvi=i(i);wi;tvi=i(     M;N}S$
183 : SAVESTATE:          38
183 :                    ;tvi=l;tvi=i(i);wi;tvi=i(     ;N}S$
184 :                    tvi=l;tvi=i(i);wi;tvi=i(i     N}S$
185 :N->tY;N             tvi=l;tvi=i(i);wi;tvi=i(i     N}S$
186 : SAVESTATE:          39
186 :                    tvi=l;tvi=i(i);wi;tvi=i(i     tY;N}S$
187 :                    vi=l;tvi=i(i);wi;tvi=i(i,     Y;N}S$
188 :Y->vi               vi=l;tvi=i(i);wi;tvi=i(i,     Y;N}S$
189 : SAVESTATE:          40
189 :                    vi=l;tvi=i(i);wi;tvi=i(i,     vi;N}S$
190 :                    i=l;tvi=i(i);wi;tvi=i(i,i     i;N}S$
```

```
191 :                    =l;tvi=i(i);wi;tvi=i(i,i,     ;N}S$
192 : TNS_NS_NORULECHAIN/NS_NORULE
192 : RESTATE
192 :                    vi=l;tvi=i(i);wi;tvi=i(i,     Y;N}S$
193 :Y->vi=L             vi=l;tvi=i(i);wi;tvi=i(i,     Y;N}S$
194 : SAVESTATE:          40
194 :                    vi=l;tvi=i(i);wi;tvi=i(i,     vi=L;N}S$
195 :                    i=l;tvi=i(i);wi;tvi=i(i,i     i=L;N}S$
196 :                    =l;tvi=i(i);wi;tvi=i(i,i,     =L;N}S$
197 :                    l;tvi=i(i);wi;tvi=i(i,i,l     L;N}S$
198 :L->l                l;tvi=i(i);wi;tvi=i(i,i,l     L;N}S$
199 : SAVESTATE:          41
199 :                    l;tvi=i(i);wi;tvi=i(i,i,l     l;N}S$
200 :                    ;tvi=i(i);wi;tvi=i(i,i,l)     ;N}S$
201 :                    tvi=i(i);wi;tvi=i(i,i,l);     N}S$
202 :N->tY;N             tvi=i(i);wi;tvi=i(i,i,l);     N}S$
203 : SAVESTATE:          42
203 :                    tvi=i(i);wi;tvi=i(i,i,l);     tY;N}S$
204 :                    vi=i(i);wi;tvi=i(i,i,l);w     Y;N}S$
205 :Y->vi               vi=i(i);wi;tvi=i(i,i,l);w     Y;N}S$
206 : SAVESTATE:          43
206 :                    vi=i(i);wi;tvi=i(i,i,l);w     vi;N}S$
207 :                    i=i(i);wi;tvi=i(i,i,l);wi     i;N}S$
208 :                    =i(i);wi;tvi=i(i,i,l);wi;     ;N}S$
209 : TNS_NS_NORULECHAIN/NS_NORULE
209 : RESTATE
209 :                    vi=i(i);wi;tvi=i(i,i,l);w     Y;N}S$
210 :Y->vi=L             vi=i(i);wi;tvi=i(i,i,l);w     Y;N}S$
211 : SAVESTATE:          43
211 :                    vi=i(i);wi;tvi=i(i,i,l);w     vi=L;N}S$
212 :                    i=i(i);wi;tvi=i(i,i,l);wi     i=L;N}S$
213 :                    =i(i);wi;tvi=i(i,i,l);wi;     =L;N}S$
214 :                    i(i);wi;tvi=i(i,i,l);wi;t     L;N}S$
215 :L->i                i(i);wi;tvi=i(i,i,l);wi;t     L;N}S$
216 : SAVESTATE:          44
216 :                    i(i);wi;tvi=i(i,i,l);wi;t     i;N}S$
217 :                    (i);wi;tvi=i(i,i,l);wi;tv     ;N}S$
218 : TNS_NS_NORULECHAIN/NS_NORULE
218 : RESTATE
218 :                    i(i);wi;tvi=i(i,i,l);wi;t     L;N}S$
219 :L->i(U)             i(i);wi;tvi=i(i,i,l);wi;t     L;N}S$
220 : SAVESTATE:          44
220 :                    i(i);wi;tvi=i(i,i,l);wi;t     i(U);N}S$
221 :                    (i);wi;tvi=i(i,i,l);wi;tv     (U);N}S$
222 :                    i);wi;tvi=i(i,i,l);wi;tvi     U);N}S$
223 :U->i                i);wi;tvi=i(i,i,l);wi;tvi     U);N}S$
224 : SAVESTATE:          45
224 :                    i);wi;tvi=i(i,i,l);wi;tvi     i);N}S$
225 :                    );wi;tvi=i(i,i,l);wi;tvi=     );N}S$
```

```
226 :                    ;wi;tvi=i(i,i,l);wi;tvi=l     ;N}S$
227 :                    wi;tvi=i(i,i,l);wi;tvi=l;     N}S$
228 :N->wE;N             wi;tvi=i(i,i,l);wi;tvi=l;     N}S$
229 : SAVESTATE:          46
229 :                    wi;tvi=i(i,i,l);wi;tvi=l;     wE;N}S$
230 :                    i;tvi=i(i,i,l);wi;tvi=l;~     E;N}S$
231 :E->iM               i;tvi=i(i,i,l);wi;tvi=l;~     E;N}S$
232 : SAVESTATE:          47
232 :                    i;tvi=i(i,i,l);wi;tvi=l;~     iM;N}S$
233 :                    ;tvi=i(i,i,l);wi;tvi=l;~(     M;N}S$
234 :M->                 ;tvi=i(i,i,l);wi;tvi=l;~(     M;N}S$
235 : SAVESTATE:          48
235 :                    ;tvi=i(i,i,l);wi;tvi=l;~(     ;N}S$
236 :                    tvi=i(i,i,l);wi;tvi=l;~(i     N}S$
237 :N->tY;N             tvi=i(i,i,l);wi;tvi=l;~(i     N}S$
238 : SAVESTATE:          49
238 :                    tvi=i(i,i,l);wi;tvi=l;~(i     tY;N}S$
239 :                    vi=i(i,i,l);wi;tvi=l;~(i<     Y;N}S$
240 :Y->vi               vi=i(i,i,l);wi;tvi=l;~(i<     Y;N}S$
241 : SAVESTATE:          50
241 :                    vi=i(i,i,l);wi;tvi=l;~(i<     vi;N}S$
242 :                    i=i(i,i,l);wi;tvi=l;~(i<l     i;N}S$
243 :                    =i(i,i,l);wi;tvi=l;~(i<l)     ;N}S$
244 : TNS_NS_NORULECHAIN/NS_NORULE
244 : RESTATE
244 :                    vi=i(i,i,l);wi;tvi=l;~(i<     Y;N}S$
245 :Y->vi=L             vi=i(i,i,l);wi;tvi=l;~(i<     Y;N}S$
246 : SAVESTATE:          50
246 :                    vi=i(i,i,l);wi;tvi=l;~(i<     vi=L;N}S$
247 :                    i=i(i,i,l);wi;tvi=l;~(i<l     i=L;N}S$
248 :                    =i(i,i,l);wi;tvi=l;~(i<l)     =L;N}S$
249 :                    i(i,i,l);wi;tvi=l;~(i<l){     L;N}S$
250 :L->i                i(i,i,l);wi;tvi=l;~(i<l){     L;N}S$
251 : SAVESTATE:          51
251 :                    i(i,i,l);wi;tvi=l;~(i<l){     i;N}S$
252 :                    (i,i,l);wi;tvi=l;~(i<l){w     ;N}S$
253 : TNS_NS_NORULECHAIN/NS_NORULE
253 : RESTATE
253 :                    i(i,i,l);wi;tvi=l;~(i<l){     L;N}S$
254 :L->i(U)             i(i,i,l);wi;tvi=l;~(i<l){     L;N}S$
255 : SAVESTATE:          51
255 :                    i(i,i,l);wi;tvi=l;~(i<l){     i(U);N}S$
256 :                    (i,i,l);wi;tvi=l;~(i<l){w     (U);N}S$
257 :                    i,i,l);wi;tvi=l;~(i<l){wi     U);N}S$
258 :U->i                i,i,l);wi;tvi=l;~(i<l){wi     U);N}S$
259 : SAVESTATE:          52
259 :                    i,i,l);wi;tvi=l;~(i<l){wi     i);N}S$
260 :                    ,i,l);wi;tvi=l;~(i<l){wi;     );N}S$
261 : TNS_NS_NORULECHAIN/NS_NORULE
```

```
261 : RESTATE
261 :                     i,i,l);wi;tvi=l;~(i<l){wi     U);N}S$
262 :U->iU                i,i,l);wi;tvi=l;~(i<l){wi     U);N}S$
263 : SAVESTATE:           52
263 :                     i,i,l);wi;tvi=l;~(i<l){wi     iU);N}S$
264 :                     ,i,l);wi;tvi=l;~(i<l){wi;     U);N}S$
265 : TNS_NS_NORULECHAIN/NS_NORULE
265 : RESTATE
265 :                     i,i,l);wi;tvi=l;~(i<l){wi     U);N}S$
266 :U->i,U               i,i,l);wi;tvi=l;~(i<l){wi     U);N}S$
267 : SAVESTATE:           52
267 :                     i,i,l);wi;tvi=l;~(i<l){wi     i,U);N}S$
268 :                     ,i,l);wi;tvi=l;~(i<l){wi;     ,U);N}S$
269 :                     i,l);wi;tvi=l;~(i<l){wi;i     U);N}S$
270 :U->i                 i,l);wi;tvi=l;~(i<l){wi;i     U);N}S$
271 : SAVESTATE:           53
271 :                     i,l);wi;tvi=l;~(i<l){wi;i     i);N}S$
272 :                     ,l);wi;tvi=l;~(i<l){wi;i=     );N}S$
273 : TNS_NS_NORULECHAIN/NS_NORULE
273 : RESTATE
273 :                     i,l);wi;tvi=l;~(i<l){wi;i     U);N}S$
274 :U->iU                i,l);wi;tvi=l;~(i<l){wi;i     U);N}S$
275 : SAVESTATE:           53
275 :                     i,l);wi;tvi=l;~(i<l){wi;i     iU);N}S$
276 :                     ,l);wi;tvi=l;~(i<l){wi;i=     U);N}S$
277 : TNS_NS_NORULECHAIN/NS_NORULE
277 : RESTATE
277 :                     i,l);wi;tvi=l;~(i<l){wi;i     U);N}S$
278 :U->i,U               i,l);wi;tvi=l;~(i<l){wi;i     U);N}S$
279 : SAVESTATE:           53
279 :                     i,l);wi;tvi=l;~(i<l){wi;i     i,U);N}S$
280 :                     ,l);wi;tvi=l;~(i<l){wi;i=     ,U);N}S$
281 :                     l);wi;tvi=l;~(i<l){wi;i=i     U);N}S$
282 :U->l                 l);wi;tvi=l;~(i<l){wi;i=i     U);N}S$
283 : SAVESTATE:           54
283 :                     l);wi;tvi=l;~(i<l){wi;i=i     l);N}S$
284 :                     );wi;tvi=l;~(i<l){wi;i=i+     );N}S$
285 :                     ;wi;tvi=l;~(i<l){wi;i=i+l     ;N}S$
286 :                     wi;tvi=l;~(i<l){wi;i=i+l;     N}S$
287 :N->wE;N              wi;tvi=l;~(i<l){wi;i=i+l;     N}S$
288 : SAVESTATE:           55
288 :                     wi;tvi=l;~(i<l){wi;i=i+l;     wE;N}S$
289 :                     i;tvi=l;~(i<l){wi;i=i+l;}     E;N}S$
290 :E->iM                i;tvi=l;~(i<l){wi;i=i+l;}     E;N}S$
291 : SAVESTATE:           56
291 :                     i;tvi=l;~(i<l){wi;i=i+l;}     iM;N}S$
292 :                     ;tvi=l;~(i<l){wi;i=i+l;}i     M;N}S$
293 :M->                  ;tvi=l;~(i<l){wi;i=i+l;}i     M;N}S$
294 : SAVESTATE:           57
```

```
294 :                    ;tvi=l;~(i<l){wi;i=i+l;}i     ;N}S$
295 :                    tvi=l;~(i<l){wi;i=i+l;}i=     N}S$
296 :N->tY;N             tvi=l;~(i<l){wi;i=i+l;}i=     N}S$
297 : SAVESTATE:          58
297 :                    tvi=l;~(i<l){wi;i=i+l;}i=     tY;N}S$
298 :                    vi=l;~(i<l){wi;i=i+l;}i=l     Y;N}S$
299 :Y->vi               vi=l;~(i<l){wi;i=i+l;}i=l     Y;N}S$
300 : SAVESTATE:          59
300 :                    vi=l;~(i<l){wi;i=i+l;}i=l     vi;N}S$
301 :                    i=l;~(i<l){wi;i=i+l;}i=l;     i;N}S$
302 :                    =l;~(i<l){wi;i=i+l;}i=l;i     ;N}S$
303 : TNS_NS_NORULECHAIN/NS_NORULE
303 : RESTATE
303 :                    vi=l;~(i<l){wi;i=i+l;}i=l     Y;N}S$
304 :Y->vi=L             vi=l;~(i<l){wi;i=i+l;}i=l     Y;N}S$
305 : SAVESTATE:          59
305 :                    vi=l;~(i<l){wi;i=i+l;}i=l     vi=L;N}S$
306 :                    i=l;~(i<l){wi;i=i+l;}i=l;     i=L;N}S$
307 :                    =l;~(i<l){wi;i=i+l;}i=l;i     =L;N}S$
308 :                    l;~(i<l){wi;i=i+l;}i=l;i=     L;N}S$
309 :L->l                l;~(i<l){wi;i=i+l;}i=l;i=     L;N}S$
310 : SAVESTATE:          60
310 :                    l;~(i<l){wi;i=i+l;}i=l;i=     l;N}S$
311 :                    ;~(i<l){wi;i=i+l;}i=l;i=l     ;N}S$
312 :                    ~(i<l){wi;i=i+l;}i=l;i=l;     N}S$
313 :N->~KZN             ~(i<l){wi;i=i+l;}i=l;i=l;     N}S$
314 : SAVESTATE:          61
314 :                    ~(i<l){wi;i=i+l;}i=l;i=l;     ~KZN}S$
315 :                    (i<l){wi;i=i+l;}i=l;i=l;t     KZN}S$
316 :K->(U<U)            (i<l){wi;i=i+l;}i=l;i=l;t     KZN}S$
317 : SAVESTATE:          62
317 :                    (i<l){wi;i=i+l;}i=l;i=l;t     (U<U)ZN}S$
318 :                    i<l){wi;i=i+l;}i=l;i=l;tv     U<U)ZN}S$
319 :U->i                i<l){wi;i=i+l;}i=l;i=l;tv     U<U)ZN}S$
320 : SAVESTATE:          63
320 :                    i<l){wi;i=i+l;}i=l;i=l;tv     i<U)ZN}S$
321 :                    <l){wi;i=i+l;}i=l;i=l;tvi     <U)ZN}S$
322 :                    l){wi;i=i+l;}i=l;i=l;tvi=     U)ZN}S$
323 :U->l                l){wi;i=i+l;}i=l;i=l;tvi=     U)ZN}S$
324 : SAVESTATE:          64
324 :                    l){wi;i=i+l;}i=l;i=l;tvi=     l)ZN}S$
325 :                    ){wi;i=i+l;}i=l;i=l;tvi=l     )ZN}S$
326 :                    {wi;i=i+l;}i=l;i=l;tvi=l;     ZN}S$
327 :Z->{N}              {wi;i=i+l;}i=l;i=l;tvi=l;     ZN}S$
328 : SAVESTATE:          65
328 :                    {wi;i=i+l;}i=l;i=l;tvi=l;     {N}N}S$
329 :                    wi;i=i+l;}i=l;i=l;tvi=l;t     N}N}S$
330 :N->wE;N             wi;i=i+l;}i=l;i=l;tvi=l;t     N}N}S$
331 : SAVESTATE:          66
```

```
331 :                    wi;i=i+l;}i=l;i=l;tvi=l;t     wE;N}N}S$
332 :                    i;i=i+l;}i=l;i=l;tvi=l;tv     E;N}N}S$
333 :E->iM               i;i=i+l;}i=l;i=l;tvi=l;tv     E;N}N}S$
334 : SAVESTATE:          67
334 :                    i;i=i+l;}i=l;i=l;tvi=l;tv     iM;N}N}S$
335 :                    ;i=i+l;}i=l;i=l;tvi=l;tvi     M;N}N}S$
336 :M->                 ;i=i+l;}i=l;i=l;tvi=l;tvi     M;N}N}S$
337 : SAVESTATE:          68
337 :                    ;i=i+l;}i=l;i=l;tvi=l;tvi     ;N}N}S$
338 :                    i=i+l;}i=l;i=l;tvi=l;tvi=     N}N}S$
339 :N->i=E;N            i=i+l;}i=l;i=l;tvi=l;tvi=     N}N}S$
340 : SAVESTATE:          69
340 :                    i=i+l;}i=l;i=l;tvi=l;tvi=     i=E;N}N}S$
341 :                    =i+l;}i=l;i=l;tvi=l;tvi=i     =E;N}N}S$
342 :                    i+l;}i=l;i=l;tvi=l;tvi=i(     E;N}N}S$
343 :E->iM               i+l;}i=l;i=l;tvi=l;tvi=i(     E;N}N}S$
344 : SAVESTATE:          70
344 :                    i+l;}i=l;i=l;tvi=l;tvi=i(     iM;N}N}S$
345 :                    +l;}i=l;i=l;tvi=l;tvi=i(i     M;N}N}S$
346 :M->+E               +l;}i=l;i=l;tvi=l;tvi=i(i     M;N}N}S$
347 : SAVESTATE:          71
347 :                    +l;}i=l;i=l;tvi=l;tvi=i(i     +E;N}N}S$
348 :                    l;}i=l;i=l;tvi=l;tvi=i(i,     E;N}N}S$
349 :E->lM               l;}i=l;i=l;tvi=l;tvi=i(i,     E;N}N}S$
350 : SAVESTATE:          72
350 :                    l;}i=l;i=l;tvi=l;tvi=i(i,     lM;N}N}S$
351 :                    ;}i=l;i=l;tvi=l;tvi=i(i,i     M;N}N}S$
352 :M->                 ;}i=l;i=l;tvi=l;tvi=i(i,i     M;N}N}S$
353 : SAVESTATE:          73
353 :                    ;}i=l;i=l;tvi=l;tvi=i(i,i     ;N}N}S$
354 :                    }i=l;i=l;tvi=l;tvi=i(i,i,     N}N}S$
355 :N->                 }i=l;i=l;tvi=l;tvi=i(i,i,     N}N}S$
356 : SAVESTATE:          74
356 :                    }i=l;i=l;tvi=l;tvi=i(i,i,     }N}S$
357 :                    i=l;i=l;tvi=l;tvi=i(i,i,i     N}S$
358 :N->i=E;N            i=l;i=l;tvi=l;tvi=i(i,i,i     N}S$
359 : SAVESTATE:          75
359 :                    i=l;i=l;tvi=l;tvi=i(i,i,i     i=E;N}S$
360 :                    =l;i=l;tvi=l;tvi=i(i,i,i)     =E;N}S$
361 :                    l;i=l;tvi=l;tvi=i(i,i,i);     E;N}S$
362 :E->lM               l;i=l;tvi=l;tvi=i(i,i,i);     E;N}S$
363 : SAVESTATE:          76
363 :                    l;i=l;tvi=l;tvi=i(i,i,i);     lM;N}S$
364 :                    ;i=l;tvi=l;tvi=i(i,i,i);w     M;N}S$
365 :M->                 ;i=l;tvi=l;tvi=i(i,i,i);w     M;N}S$
366 : SAVESTATE:          77
366 :                    ;i=l;tvi=l;tvi=i(i,i,i);w     ;N}S$
367 :                    i=l;tvi=l;tvi=i(i,i,i);wi     N}S$
368 :N->i=E;N            i=l;tvi=l;tvi=i(i,i,i);wi     N}S$
```

```
369 : SAVESTATE:          78
369 :                    i=l;tvi=l;tvi=i(i,i,i);wi     i=E;N}S$
370 :                    =l;tvi=l;tvi=i(i,i,i);wi;     =E;N}S$
371 :                    l;tvi=l;tvi=i(i,i,i);wi;}     E;N}S$
372 :E->lM              l;tvi=l;tvi=i(i,i,i);wi;}     E;N}S$
373 : SAVESTATE:          79
373 :                    l;tvi=l;tvi=i(i,i,i);wi;}     lM;N}S$
374 :                    ;tvi=l;tvi=i(i,i,i);wi;}$     M;N}S$
375 :M->                 ;tvi=l;tvi=i(i,i,i);wi;}$     M;N}S$
376 : SAVESTATE:          80
376 :                    ;tvi=l;tvi=i(i,i,i);wi;}$     ;N}S$
377 :                    tvi=l;tvi=i(i,i,i);wi;}$      N}S$
378 :N->tY;N             tvi=l;tvi=i(i,i,i);wi;}$      N}S$
379 : SAVESTATE:          81
379 :                    tvi=l;tvi=i(i,i,i);wi;}$      tY;N}S$
380 :                    vi=l;tvi=i(i,i,i);wi;}$       Y;N}S$
381 :Y->vi               vi=l;tvi=i(i,i,i);wi;}$       Y;N}S$
382 : SAVESTATE:          82
382 :                    vi=l;tvi=i(i,i,i);wi;}$       vi;N}S$
383 :                    i=l;tvi=i(i,i,i);wi;}$        i;N}S$
384 :                    =l;tvi=i(i,i,i);wi;}$         ;N}S$
385 : TNS_NS_NORULECHAIN/NS_NORULE
385 : RESTATE
385 :                    vi=l;tvi=i(i,i,i);wi;}$       Y;N}S$
386 :Y->vi=L             vi=l;tvi=i(i,i,i);wi;}$       Y;N}S$
387 : SAVESTATE:          82
387 :                    vi=l;tvi=i(i,i,i);wi;}$       vi=L;N}S$
388 :                    i=l;tvi=i(i,i,i);wi;}$        i=L;N}S$
389 :                    =l;tvi=i(i,i,i);wi;}$         =L;N}S$
390 :                    l;tvi=i(i,i,i);wi;}$          L;N}S$
391 :L->l                l;tvi=i(i,i,i);wi;}$          L;N}S$
392 : SAVESTATE:          83
392 :                    l;tvi=i(i,i,i);wi;}$          l;N}S$
393 :                    ;tvi=i(i,i,i);wi;}$           ;N}S$
394 :                    tvi=i(i,i,i);wi;}$            N}S$
395 :N->tY;N             tvi=i(i,i,i);wi;}$            N}S$
396 : SAVESTATE:          84
396 :                    tvi=i(i,i,i);wi;}$            tY;N}S$
397 :                    vi=i(i,i,i);wi;}$             Y;N}S$
398 :Y->vi               vi=i(i,i,i);wi;}$             Y;N}S$
399 : SAVESTATE:          85
399 :                    vi=i(i,i,i);wi;}$             vi;N}S$
400 :                    i=i(i,i,i);wi;}$              i;N}S$
401 :                    =i(i,i,i);wi;}$               ;N}S$
402 : TNS_NS_NORULECHAIN/NS_NORULE
402 : RESTATE
402 :                    vi=i(i,i,i);wi;}$             Y;N}S$
403 :Y->vi=L             vi=i(i,i,i);wi;}$             Y;N}S$
404 : SAVESTATE:          85
```

```
404 :                       vi=i(i,i,i);wi;}$              vi=L;N}S$
405 :                       i=i(i,i,i);wi;}$               i=L;N}S$
406 :                       =i(i,i,i);wi;}$                =L;N}S$
407 :                       i(i,i,i);wi;}$                 L;N}S$
408 :L->i                   i(i,i,i);wi;}$                 L;N}S$
409 : SAVESTATE:             86
409 :                       i(i,i,i);wi;}$                 i;N}S$
410 :                       (i,i,i);wi;}$                  ;N}S$
411 : TNS_NS_NORULECHAIN/NS_NORULE
411 : RESTATE
411 :                       i(i,i,i);wi;}$                 L;N}S$
412 :L->i(U)                i(i,i,i);wi;}$                 L;N}S$
413 : SAVESTATE:             86
413 :                       i(i,i,i);wi;}$                 i(U);N}S$
414 :                       (i,i,i);wi;}$                  (U);N}S$
415 :                       i,i,i);wi;}$                   U);N}S$
416 :U->i                   i,i,i);wi;}$                   U);N}S$
417 : SAVESTATE:             87
417 :                       i,i,i);wi;}$                   i);N}S$
418 :                       ,i,i);wi;}$                    );N}S$
419 : TNS_NS_NORULECHAIN/NS_NORULE
419 : RESTATE
419 :                       i,i,i);wi;}$                   U);N}S$
420 :U->iU                  i,i,i);wi;}$                   U);N}S$
421 : SAVESTATE:             87
421 :                       i,i,i);wi;}$                   iU);N}S$
422 :                       ,i,i);wi;}$                    U);N}S$
423 : TNS_NS_NORULECHAIN/NS_NORULE
423 : RESTATE
423 :                       i,i,i);wi;}$                   U);N}S$
424 :U->i,U                 i,i,i);wi;}$                   U);N}S$
425 : SAVESTATE:             87
425 :                       i,i,i);wi;}$                   i,U);N}S$
426 :                       ,i,i);wi;}$                    ,U);N}S$
427 :                       i,i);wi;}$                     U);N}S$
428 :U->i                   i,i);wi;}$                     U);N}S$
429 : SAVESTATE:             88
429 :                       i,i);wi;}$                     i);N}S$
430 :                       ,i);wi;}$                      );N}S$
431 : TNS_NS_NORULECHAIN/NS_NORULE
431 : RESTATE
431 :                       i,i);wi;}$                     U);N}S$
432 :U->iU                  i,i);wi;}$                     U);N}S$
433 : SAVESTATE:             88
433 :                       i,i);wi;}$                     iU);N}S$
434 :                       ,i);wi;}$                      U);N}S$
435 : TNS_NS_NORULECHAIN/NS_NORULE
435 : RESTATE
435 :                       i,i);wi;}$                     U);N}S$
```

```
436 :U->i,U              i,i);wi;}$                    U);N}S$
437 : SAVESTATE:          88
437 :                    i,i);wi;}$                    i,U);N}S$
438 :                    ,i);wi;}$                     ,U);N}S$
439 :                    i);wi;}$                      U);N}S$
440 :U->i                i);wi;}$                      U);N}S$
441 : SAVESTATE:          89
441 :                    i);wi;}$                      i);N}S$
442 :                    );wi;}$                       );N}S$
443 :                    ;wi;}$                        ;N}S$
444 :                    wi;}$                         N}S$
445 :N->wE;N             wi;}$                         N}S$
446 : SAVESTATE:          90
446 :                    wi;}$                         wE;N}S$
447 :                    i;}$                          E;N}S$
448 :E->iM               i;}$                          E;N}S$
449 : SAVESTATE:          91
449 :                    i;}$                          iM;N}S$
450 :                    ;}$                           M;N}S$
451 :M->                 ;}$                           M;N}S$
452 : SAVESTATE:          92
452 :                    ;}$                           ;N}S$
453 :                    }$                            N}S$
454 :N->                 }$                            N}S$
455 : SAVESTATE:          93
455 :                    }$                            }S$
456 :                    $                             S$
457 :S->                 $                             S$
458 : SAVESTATE:          94
458 :                    $                             $
459 :
460 : LENTA_END
461 : ------>LENTA_END
```

Таблица 1 - Таблица правил переходов нетерминальных символов

Символ	Правила	Какие правила порождает
S	S-> m{N}S S-> tfi(F){NrU;}S S-> λ	Стартовые правила, описывающее общую структуру программы
N	N-> tY;N N-> i=E;N N-> wE;N N-> ~KZN	Правила для операторов

	N-> λ	
U	U-> l U-> i U->lU U->iU U->i,U U->l,U	Только литерал или идентификатор (один или несколько)
Y	Y-> vi Y->vi=L	Правило определения переменной
E	E-> iM E-> lM E-> (E)M E-> i(W)M	Правила выражений
M	M-> +E M-> -E M-> *E M-> /E M-> %E M-> λ	Правила арифметический операторов
F	F-> tP F-> tP,F F-> λ	Правила определения параметров функции
P	P-> pi	Правило определения параметров функции
W	W-> i W-> l W-> i,W W-> l,W W-> λ	Правила вызова функции с параметрами
L	L->I	Начальная инициализация

	L->l L->i(U) L->i() L->iL L->lL L->+i L->+l L->+iL L->+lL L->-i L->-l L->-iL L->-lL L->*i L->*l L->*iL L->*lL L->/i L->/l L->/iL L->/lL L->%i L->%l L->%iL L->%lL	
Z	Z->{N}	Тело цикла

Приложение Г

Листинг 1. Программная реализация механизма преобразования в ПОЛИЗ

```
bool polishNotation(int lextable_pos, LT::LexTable& lextable, IT::IdTable&
idtable)
{
	stack<LT::Entry*> stk;	//создаем стек для хранения временных
операций
	queue<LT::Entry*> result;
	bool function = false;
	int quantityParm = 0;
	int i = ++lextable_pos;
	for (; lextable.table[i]->lexema != LEX_SEMICOLON &&
(lextable.table[i]->lexema != LEX_RIGHTHESIS || !stk.empty()); i++)
	{
		switch (lextable.table[i]->lexema)
		{
		case LEX_ID:			//операнды
		case LEX_LITERAL:
			if (idtable.table[lextable.table[i]->idxTI]->idtype ==
IT::IDTYPE::F)
			{
				quantityParm = 0;
				function = true;
				result.push(lextable.table[i]);
				break;
			}
			if (function && !quantityParm)
				quantityParm++;

			result.push(lextable.table[i]);
			break;
		case LEX_PLUS:
		case LEX_MINUS:
		case LEX_TIMES:
		case LEX_DIVIDE:
		case LEX_MODULE:
			if (stk.empty() || stk.top()->lexema == LEX_LEFTHESIS)
				stk.push(lextable.table[i]);
			else
			{
				int prioritet = priority(lextable.table[i]->sign);
				if (priority(stk.top()->sign) >= prioritet)
				{
					result.push(stk.top());

					stk.pop();
				}
				stk.push(lextable.table[i]);
			}
			break;

		case LEX_LEFTHESIS:
			stk.push(lextable.table[i]);
			break;
```

```
            case LEX_RIGHTHESIS:
                  while (stk.top()->lexema != LEX_LEFTHESIS)
                  {
                        result.push(stk.top());

                        stk.pop();
                  }
                  stk.pop();

                  if (function)
                  {
                        result.push(new LT::Entry('@'));
                        result.push(new LT::Entry('0' + quantityParm));
                        function = false;
                  }
                  break;

            case LEX_COMMA:
                  if (function)
                        quantityParm++;
                  while (stk.top()->lexema != LEX_LEFTHESIS)
                  {
                        result.push(stk.top());
                        stk.pop();
                  }
                  break;
            case LEX_MORE:
            case LEX_LESS:
                  result.push(lextable.table[i]);
                  break;
            }
      }
      while (!stk.empty())
      {
            result.push(stk.top());
            stk.pop();
      }
      for (int j = lextable_pos; j < i; j++)
      {
            if (!result.empty())
            {
                  lextable.table[j] = result.front();
                  lextable.table[j]->sn = lextable.table[j - 1]->sn;
                  lextable.table[j]->tn = lextable.table[j - 1]->tn + 1;
                  result.pop();
            }
            else
            {
                  lextable.table[j] = new LT::Entry('#', lextable.table[j]-
>sn = lextable.table[j - 1]->sn, lextable.table[j]->tn = lextable.table[j
- 1]->tn + 1);
            }
      }
      return true;
}
```

Приложение Д

Листинг 1. Исходный код на языке ассемблера для контрольного примера

```
.586                                    ; система команд (процессор Pentium)
.model flat, stdcall                ; модель памяти, соглашение о вызовах
includelib kernel32.lib
includelib libucrt.lib
includelib "D:\KAD-2023-CP\KAD-2023\Debug\StaticLib.lib"

ExitProcess PROTO: dword            ; прототип функции для завершения процесса
Windows

EXTRN lenght: proc
EXTRN write_short: proc
EXTRN write_str : proc
EXTRN copy: proc
EXTRN getLocalTimeAndDate: proc
EXTRN random: proc
.stack 4096

.const                                          ; сегмент констант - литералы
nulError byte 'error divided by zero', 0
nul sword 0, 0

     L0 byte "Hi!", 0
     L1 sword -3
     L2 sword 7
     L3 sword 6
     L4 sword 3
     L5 sword 4
     L6 sword 2
     L7 byte "Тест строки", 0
     L8 sword 0
     L9 sword 100
     L10 sword 10
     L11 sword 1
     L12 sword 15
     L13 sword 5
     L14 byte "Hello", 0
     L15 byte "How are you", 0
     L16 byte "Шестнадцатиричное число A в 10й сс:", 0
     L17 byte "Двоичное число 1010 в 10й сс:", 0
.data                                       ; сегмент данных - переменные и
параметры
     sumRes_sum sword 0
     lenOne_differenceInLength sword 0
     lenTwo_differenceInLength sword 0
     res_differenceInLength sword 0
     hi_getHi dword ?
     a_main sword 0
     strB_main dword ?
     b_main sword 0
     strBCopy_main dword ?
     rand_main sword 0
     date_main dword ?
```

```
      i_main sword 0
      h_main dword ?
      c_main sword 0
      sumABC_main sword 0
      firstStroke_main dword ?
      secondStroke_main dword ?
      difBetween_main sword 0
      hexNum_main sword 0
      binNum_main sword 0
.code                                   ; сегмент кода

;----------- sum ------------
sum PROC,  first_sum : sword, second_sum : sword, third_sum : sword
; --- сохранить регистры ---
push ebx
push edx
; ----------------------
push first_sum
push second_sum
pop bx
pop ax
add ax, bx
push ax
push third_sum
pop bx
pop ax
add ax, bx
push ax
pop sumRes_sum

; --- восстановить регистры ---
pop edx
pop ebx
; -------------------------
mov eax, dword ptr sumRes_sum
ret
sum ENDP
;-----------------------------


;----------- differenceInLength ------------
differenceInLength PROC,   strokeOne_differenceInLength : word,
strokeTwo_differenceInLength : word
; --- сохранить регистры ---
push ebx
push edx
; ----------------------
mov eax, dword ptr strokeOne_differenceInLength
push eax
call lenght
push eax
pop lenOne_differenceInLength

mov eax, dword ptr strokeTwo_differenceInLength
push eax
call lenght
push eax
```

```
pop lenTwo_differenceInLength

push lenOne_differenceInLength
push lenTwo_differenceInLength
pop bx
pop ax
sub ax, bx
push ax
pop res_differenceInLength

; --- восстановить регистры ---
pop edx
pop ebx
; -------------------------
mov eax, dword ptr res_differenceInLength
ret
differenceInLength ENDP
;------------------------------


;----------- getHi ------------
getHi PROC
; --- сохранить регистры ---
push ebx
push edx
; ----------------------
mov hi_getHi, offset L0
push hi_getHi
call write_str

; --- восстановить регистры ---
pop eax
pop edx
pop ebx
; -------------------------
mov eax, dword ptr hi_getHi
ret
getHi ENDP
;------------------------------


;----------- MAIN ------------
main PROC

push L1
pop a_main

push a_main
push L2
pop bx
pop ax
add ax, bx
push ax
push L3
pop bx
pop ax
imul ax, bx
```

```
push ax
push L4
pop bx
pop ax
cmp nul, bx
je errorExit
cdq
idiv bx
push ax
push L5
pop bx
pop ax
sub ax, bx
push ax
push L6
pop bx
pop ax
cdq
idiv bx
push dx
pop a_main

push a_main
call write_short

mov strB_main, offset L7
mov eax, dword ptr strB_main
push eax
call lenght
push eax
pop b_main

push b_main
call write_short

mov eax, dword ptr L5
push eax
mov eax, dword ptr strB_main
push eax
mov eax, dword ptr strBCopy_main
push eax
call copy
mov strBCopy_main, eax
push strBCopy_main
call write_str

mov eax, dword ptr L9
push eax
mov eax, dword ptr L8
push eax
call random
push eax
pop rand_main

push rand_main
call write_short
```

```
call getLocalTimeAndDate
mov date_main, eax
push date_main
call write_str

push L8
pop i_main

cyclenext0:
mov dx, i_main
cmp dx, L10
jg cycle0
push i_main
call write_short

push i_main
push L11
pop bx
pop ax
add ax, bx
push ax
pop i_main

jmp cyclenext0
cycle0:

call getHi
mov h_main, eax
push L10
pop a_main

push L12
pop b_main

push L13
pop c_main

mov eax, dword ptr c_main
push eax
mov eax, dword ptr b_main
push eax
mov eax, dword ptr a_main
push eax
call sum
push eax
pop sumABC_main

push sumABC_main
call write_short

mov firstStroke_main, offset L14
mov secondStroke_main, offset L15
mov eax, dword ptr secondStroke_main
push eax
mov eax, dword ptr firstStroke_main
push eax
call differenceInLength
```

```
push eax
pop difBetween_main

push difBetween_main
call write_short

push L10
pop hexNum_main


push offset L16
call write_str

push hexNum_main
call write_short

push L10
pop binNum_main


push offset L17
call write_str

push binNum_main
call write_short

jmp goodExit
errorExit:
push offset nulError
call write_str
goodExit:
push 0
call ExitProcess
main ENDP
end main
```

Приложение Е

Графический материал. Граф дерева разбора.