

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Факультет информационных технологий и управления  
Кафедра интеллектуальных информационных технологий

ОТЧЁТ  
по лабораторной работе №3  
по дисциплине

ЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ  
СИСТЕМ

Студенты гр. 321703

Абрамов Д.С.  
Карп Г.И.  
Кучук Т.А.

Проверил:

В. П. Иващенко

Минск 2025

## ХОД ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

### Вариант 3

**Тема:**

Программирование операций обработки и преобразования формул прикладных и неклассических логик.

**Цель:**

Приобрести навыки программирования алгоритмов обработки данных в неклассических логических моделях решения задач.

**Задание:**

Реализовать прямой нечеткий логический вывод, используя треугольную норму граничного произведения и нечеткую импликацию Лукасевича.

**Описание:**

Задача заключается в написании алгоритма прямого нечеткого логического вывода, используя импликацию Лукасевича. Входом программы является файл, содержащий множество нечетких правил и фактов. Для реализации программы использовался язык программирования C++.

Были использованы следующие структуры данных:

- Vector
- Map
- Struct
- Pair
- String

**Теоретические сведения:**

Нечеткое множество – множество упорядоченных пар или кортежей вида:  $\langle x, \mu_A(x) \rangle$ , где  $x$  является элементом некоторого универсального множества или универсума  $X$ , а  $\mu_A(x)$  – функция принадлежности, которая ставит в соответствие каждому из элементов  $x \in X$  некоторое действительное число из интервала  $[0,1]$ , т. е. данная функция определяется в форме отображения:

$$\mu_A : X \rightarrow [0, 1].$$

Правило – некоторая формула, которой соответствует вычислимая операция над конечными последовательностями формул формального языка, которая позволяет от некоторого утверждения, называемого посылкой, перейти к новому утверждению, называемому заключением. Предикат, выражающий правило импликативного вида на основании известных причины и следствия:

$$A(\chi) \tilde{\rightarrow} B(\gamma) = \sup \left( \left\{ \delta \mid \left( (A(\chi) \wedge \delta) \leq B(\gamma) \right) \wedge (\delta \leq 1) \right\} \right)$$

Прямой нечеткий логический вывод – подразумевает известность некоторой пары нечетких предикатов, один из которых рассматривается как посылка, а второй – как правило, обычно первый предикат является унарным, а второй – бинарным. Тогда задача прямого вывода сводится к нахождению композиции между этими двумя нечеткими предикатами. Результат (следствие) также является нечетким предикатом:

$$\begin{aligned} & (\mathcal{B}(\gamma) = \mathcal{A}(\chi) \circ \mathcal{R}(\chi, \gamma)) \\ & \mathcal{B}(\gamma) = ? \end{aligned}$$

$$(\mathcal{B}(\gamma) = \sup(\{\mathcal{A}(\chi) \wedge \mathcal{R}(\chi, \gamma) | \chi\}))$$

Нечеткое высказывание – утверждение, истинность которого оценивается с использованием степени принадлежности к нечеткому множеству.

Нечеткий предикат – к-местный нечеткий предикат, формально определяется как некоторое отображение из декартова произведения универсумов  $X_1, X_2, \dots, X_n$  в некоторое вполне упорядоченное множество значений истинности, в частности, в интервал  $[0, 1]$ .

Импликация – бинарная логическая связка, по своему применению приближенная к союзам «если..., то...».

Нечеткая импликация нечетких высказываний – бинарная логическая операция, результат которой является нечетким высказыванием.

## **Формат базы знаний:**

<база знаний> ::= <список фактов>|<список правил><новая строка><список правил>  
<список фактов> ::= <факт>|<факт><новая строка><список фактов>  
<список правил> ::= <правило>|<правило><новая строка><список правил>  
<факт> ::= <имя нечёткого предиката><равенство><нечёткое множество>  
<правило> ::= <имя нечёткого предиката><нечеткая импликация><имя нечёткого предиката>.  
<нечёткое множество> ::= <открывающаяся фигурная скобка><список пар нечёткой  
принадлежности><закрывающаяся фигурная скобка>  
<список пар нечёткой принадлежности> ::= <пара нечёткой принадлежности>|<пара нечёткой  
принадлежности><запятая><список пар нечёткой принадлежности>  
<пара нечёткой принадлежности> ::= <открывающаяся угловая  
скобка><элемент><запятая><степень принадлежности><закрывающаяся угловая скобка>  
<имя нечеткого предиката> ::= <имя><открывающаяся полукруглая скобка>  
<имя><закрывающаяся полукруглая скобка>  
<элемент> ::= <имя>  
<имя> ::= <буква>|<буква><символы>  
<символы> ::= <символ>|<символ><символы>  
<степень принадлежности> ::= <действительное число с 0 по 1>  
<символы> ::= <буква>|<цифра>  
<множество> ::= <ориентированное множество> |  
<неориентированное множество>  
<неориентированное множество> ::= { <список элементов> }  
<ориентированное множество> ::= (<элемент>, <список элементов>)  
<список элементов> ::= <элемент>, <элемент>, <элемент>  
<имя нечёткого множества> ::= <имя>  
<действительное число с 0 по 1> ::= <единица>|<единица><точка><нули>|<действительное  
число с 0 до 1>  
<действительное число с 0 до 1> ::= <ноль>|<ноль><точка><цифры>  
<нули> ::= <ноль>|<ноль><нули>  
<цифра> ::= <цифра>|<цифра><цифры>  
<символ> ::= <буква>|<цифра>  
<цифра> ::= 0|...|9  
<буква> ::= A|...|z  
<единица> ::= 1  
<ноль> ::= 0  
<точка> ::= .  
<запятая> ::= ,  
<равенство> ::= =  
<нечеткая импликация> ::= ~>  
<открывающаяся угловая скобка> ::= <  
<закрывающаяся угловая скобка> ::= >  
<открывающаяся фигурная скобка> ::= {  
<закрывающаяся фигурная скобка> ::= }  
<открывающаяся полукруглая скобка> ::= (  
<закрывающаяся полукруглая скобка> ::= )

## Схемы функций программы:

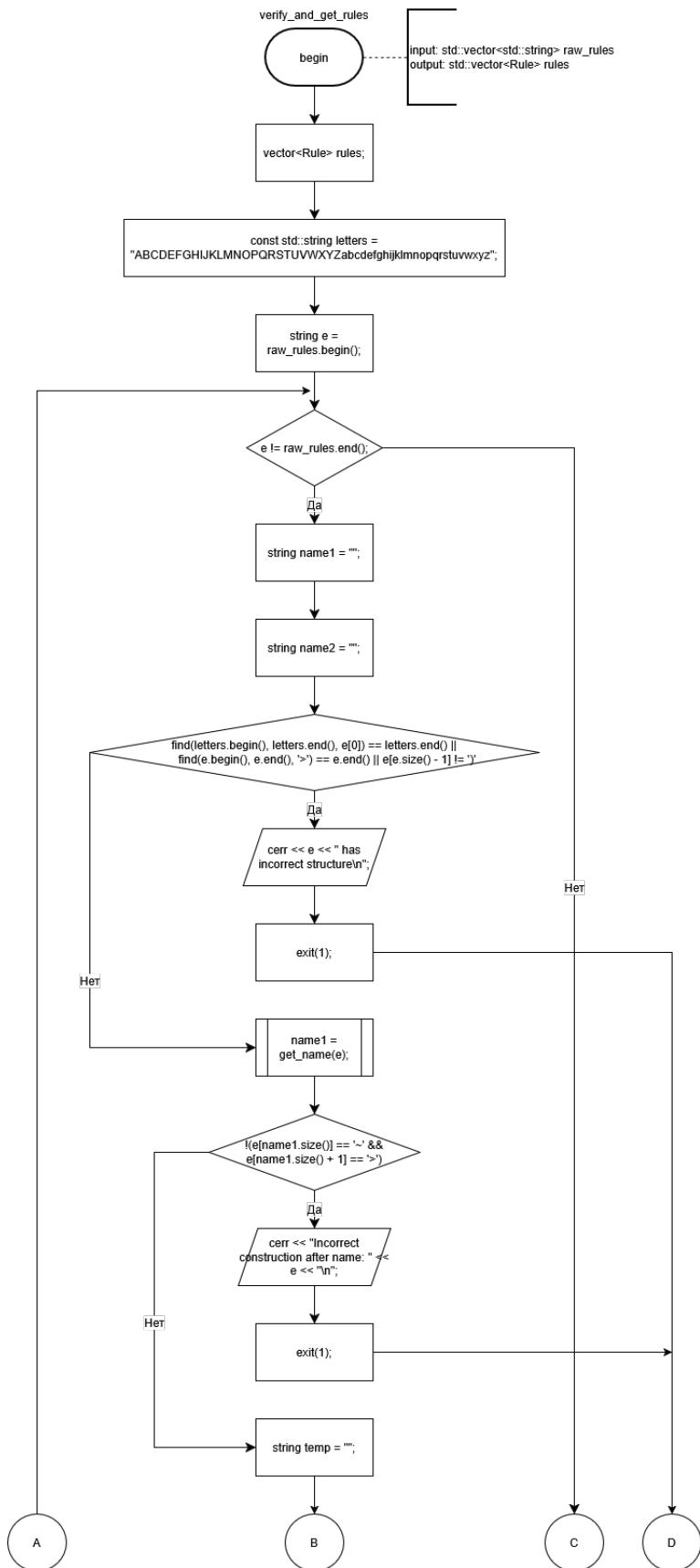


Рис. 1.1: Функция verify\_and\_get\_rules

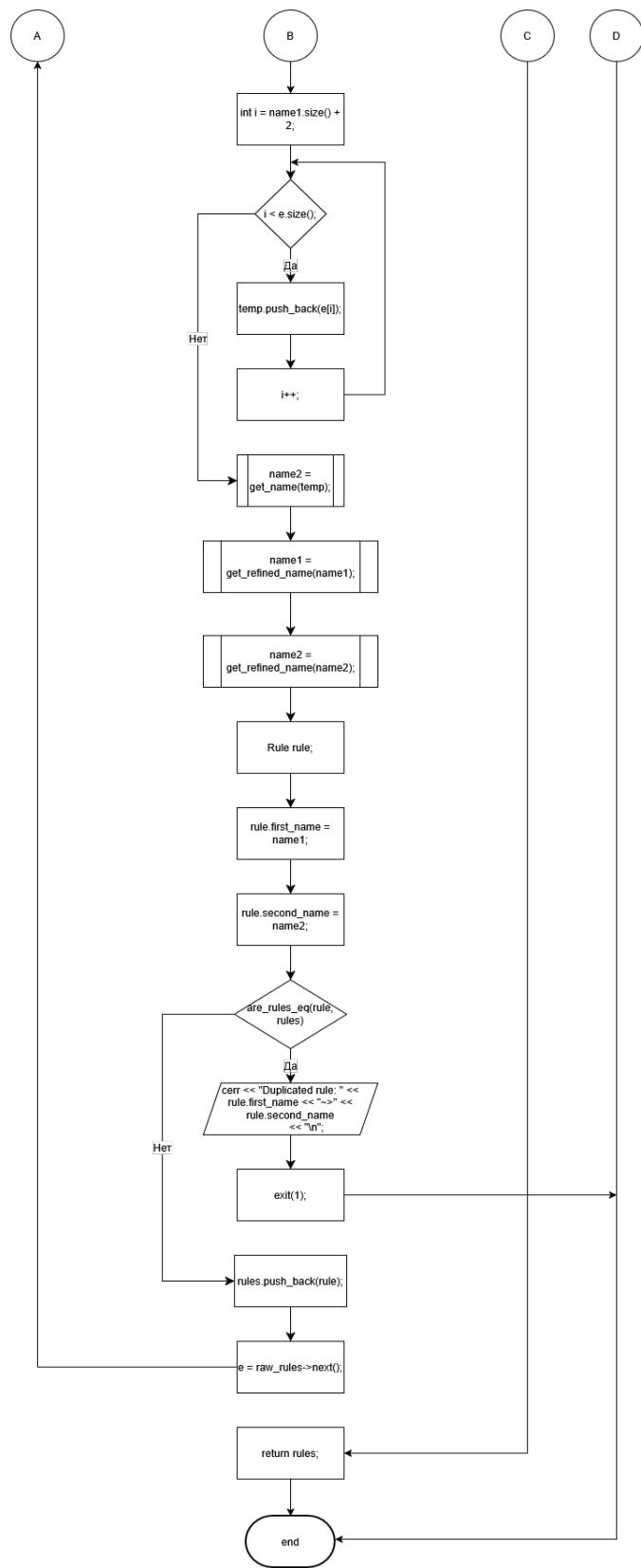


Рис. 1.2: Функция *verify\_and\_get\_rules*

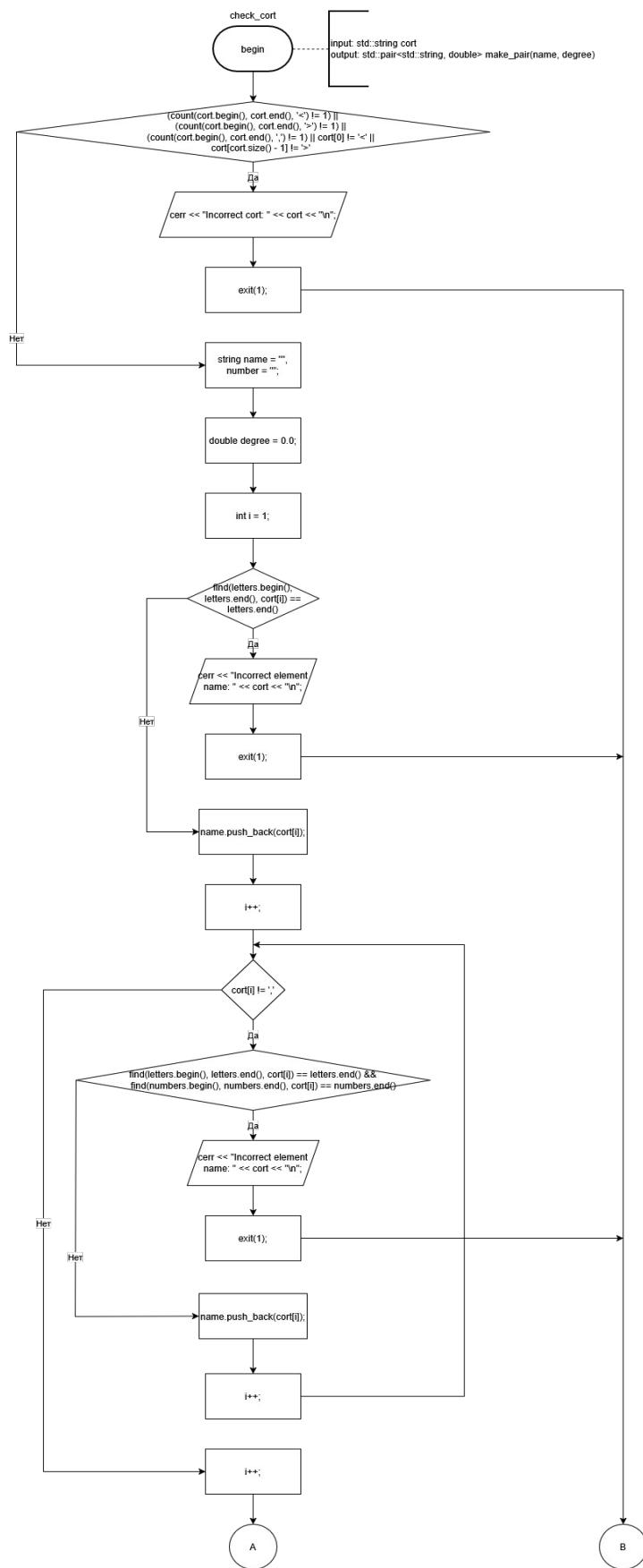


Рис. 2.1: Функция `check_cort`

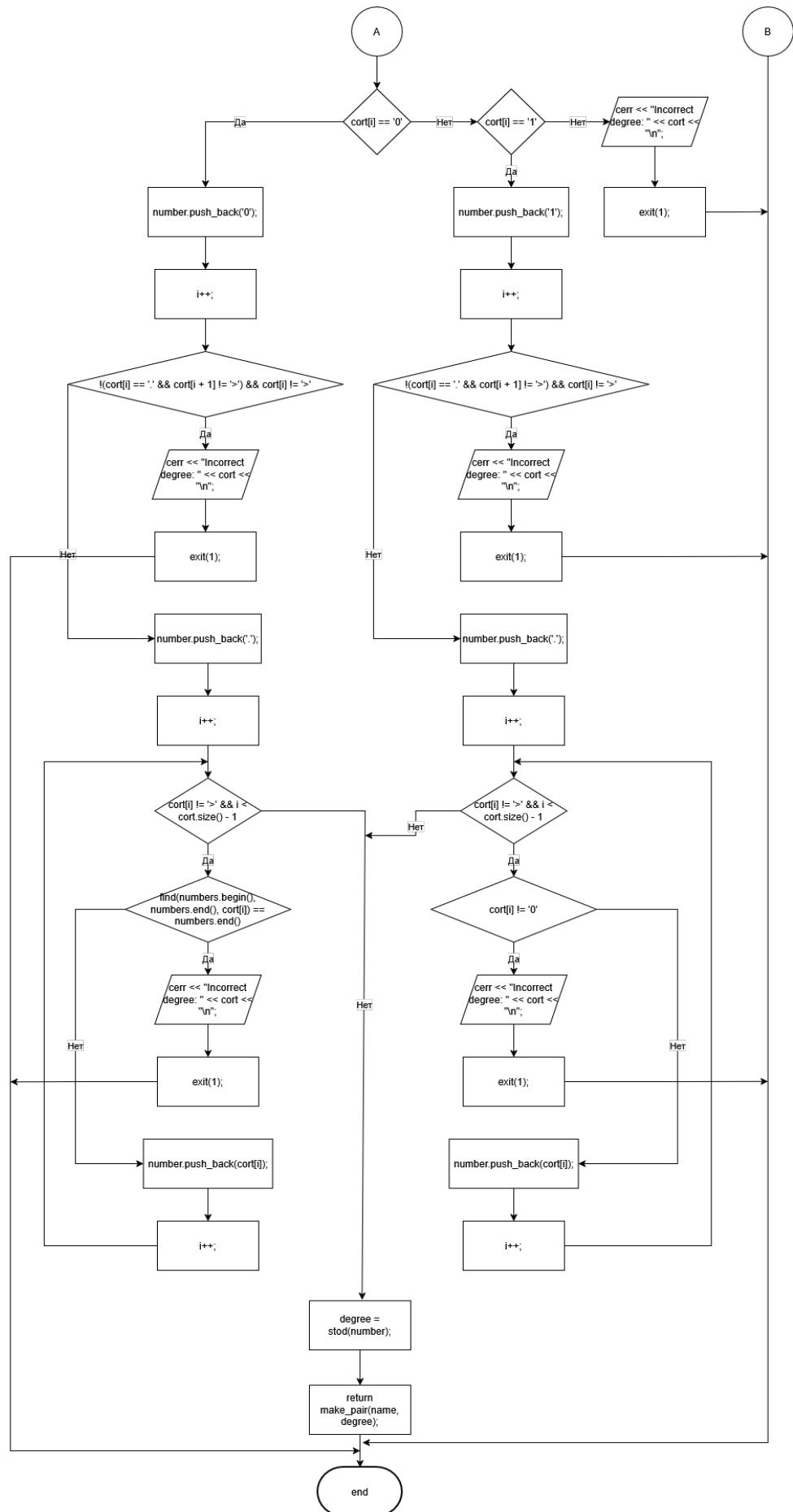


Рис. 2.2: Функция *check\_cort*

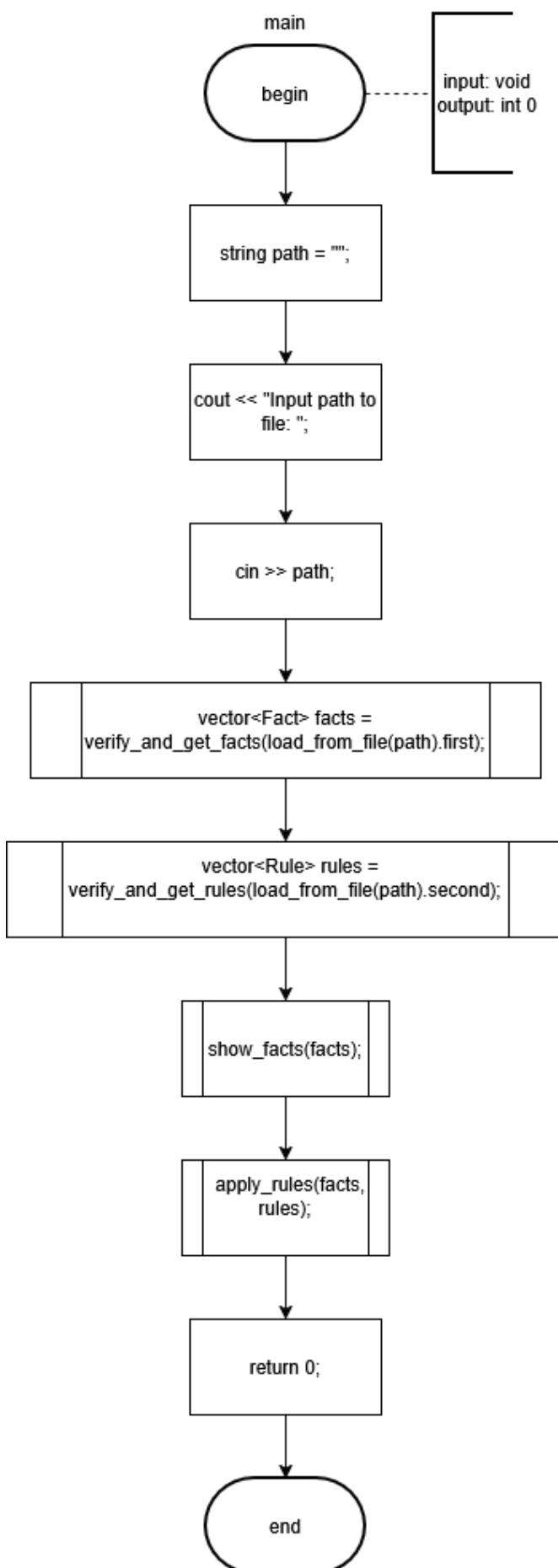


Рис. 3: Функция `main`

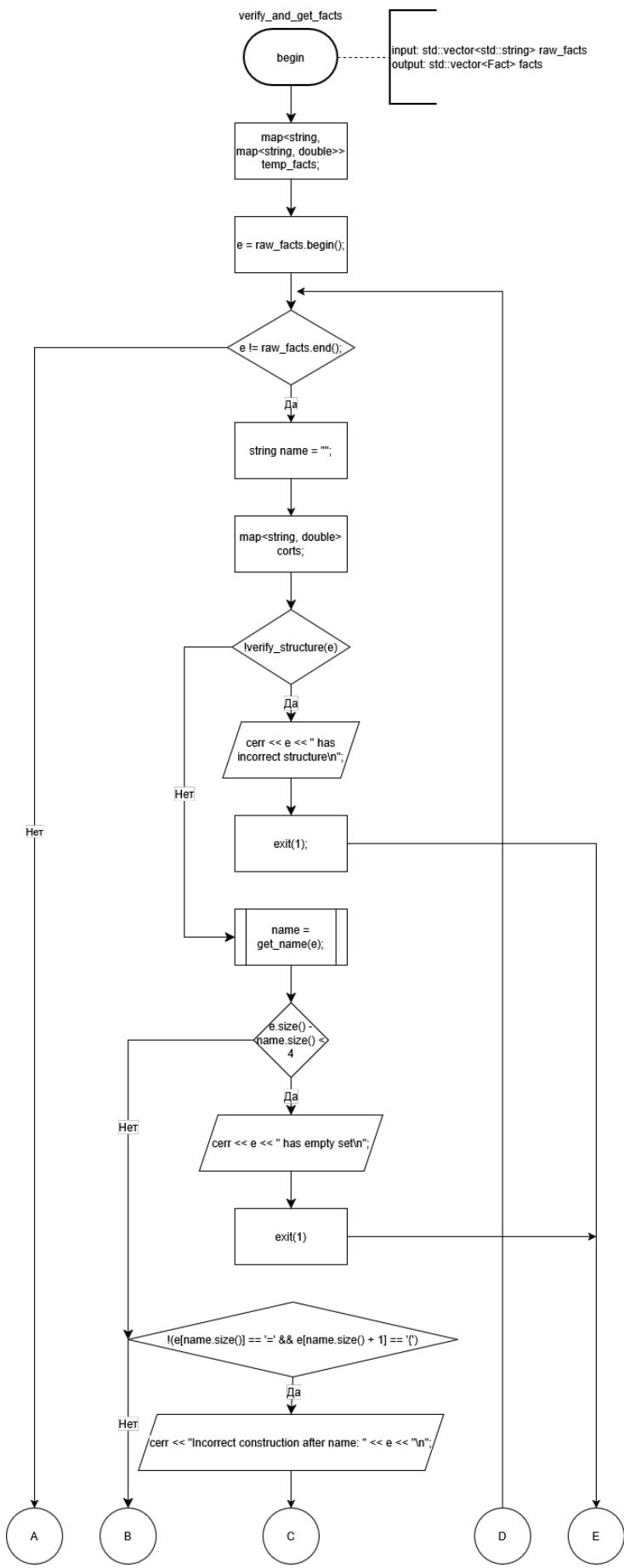


Рис. 4.1: Функция `verify_and_get_facts`

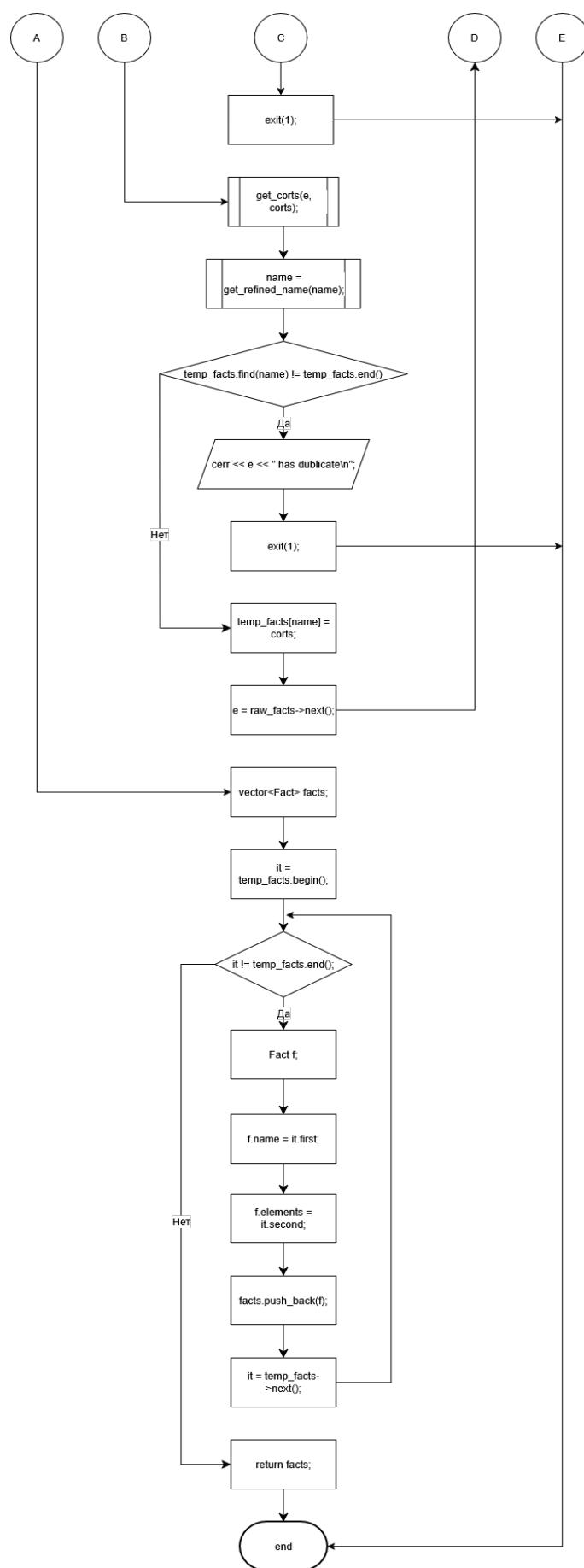


Рис. 4.2: Функция verify\_and\_get\_facts

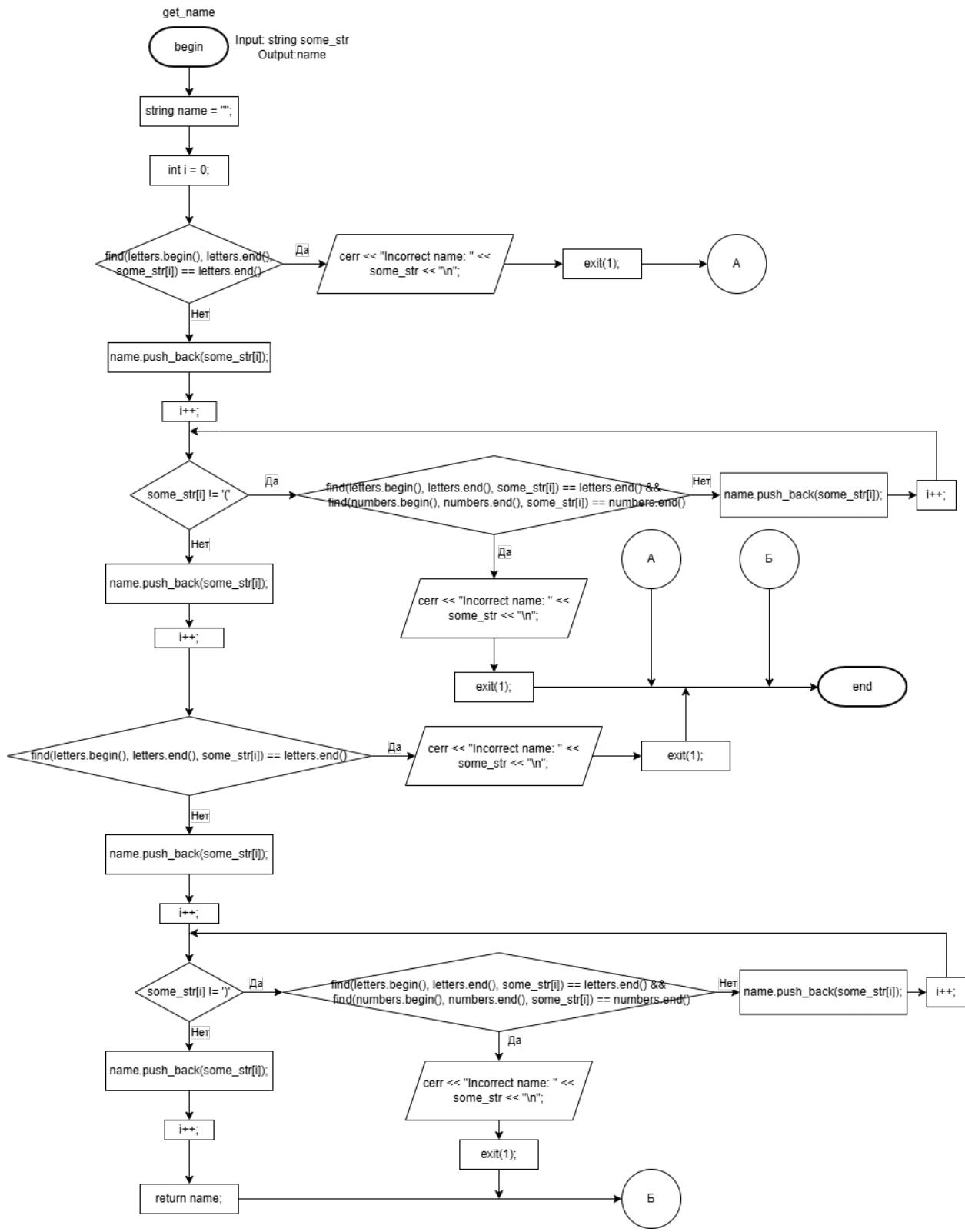


Рис. 5: Функция `get_name`

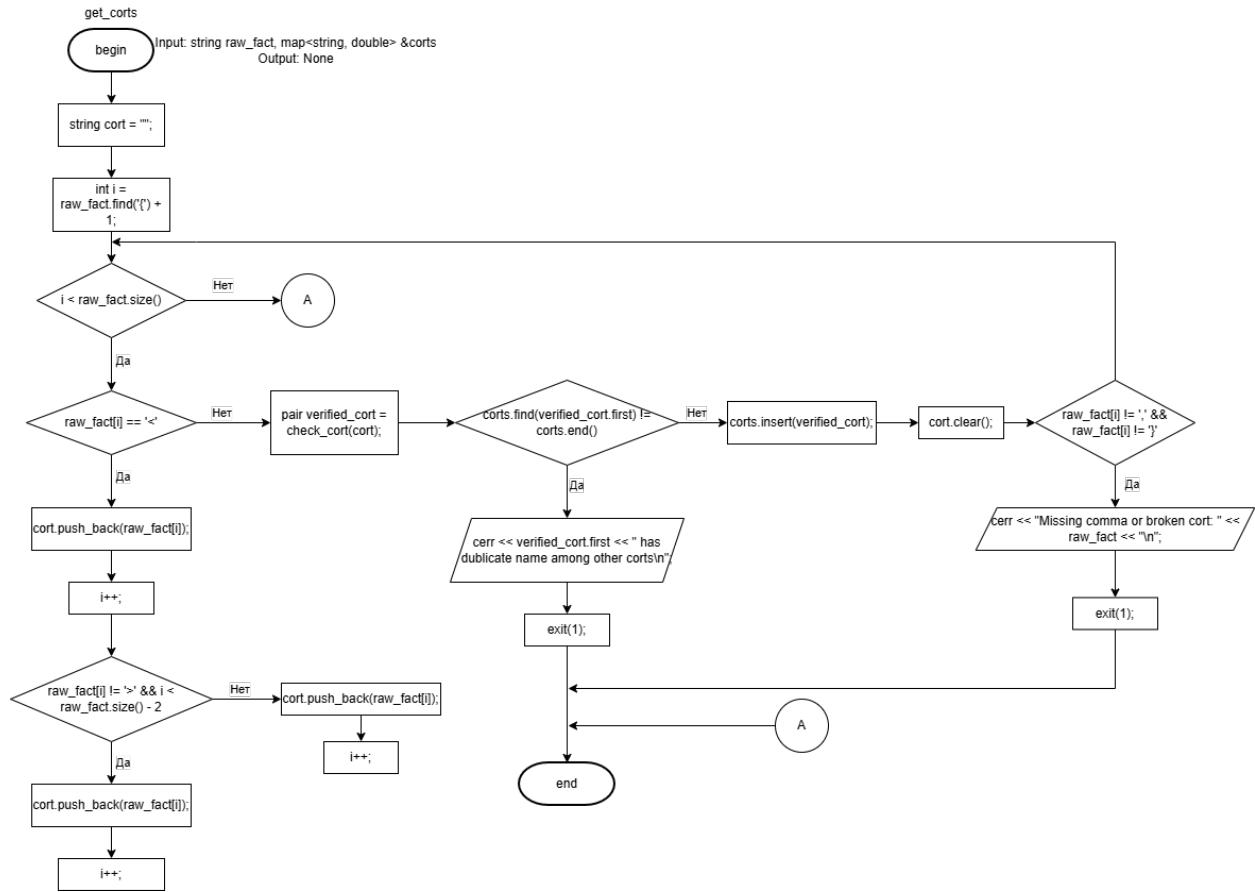


Рис. 6: Функция *get\_corts*

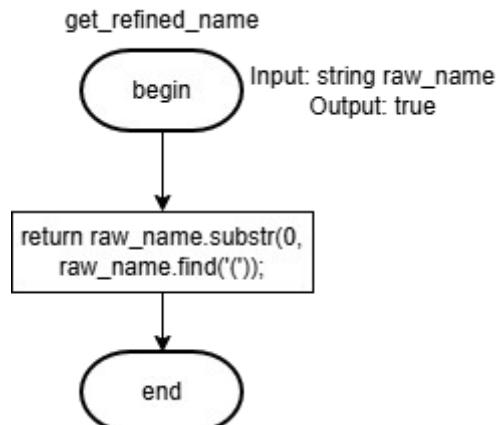


Рис. 7: Функция *get\_refined\_name*

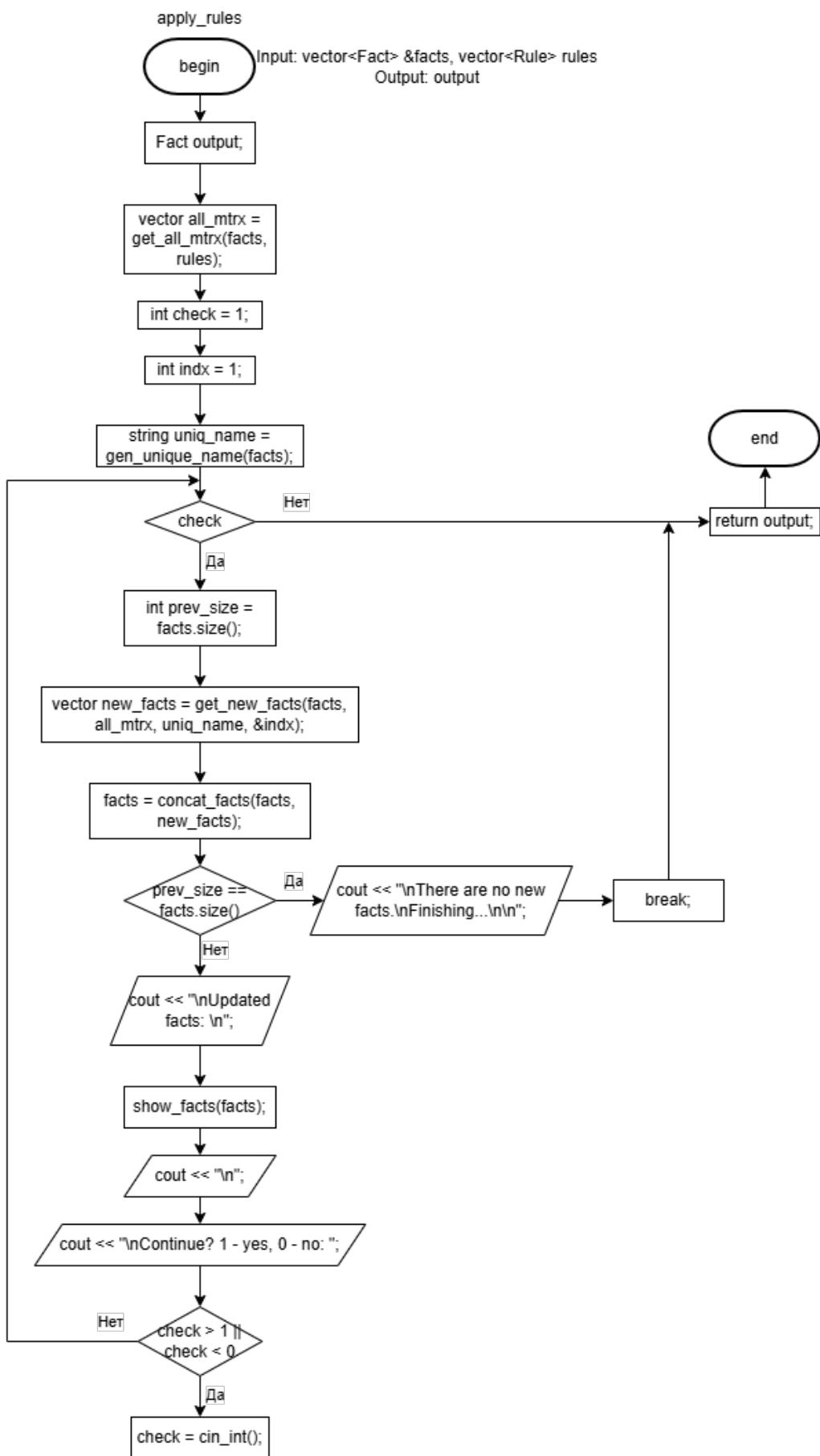


Рис. 8: Функция *apply\_rules*

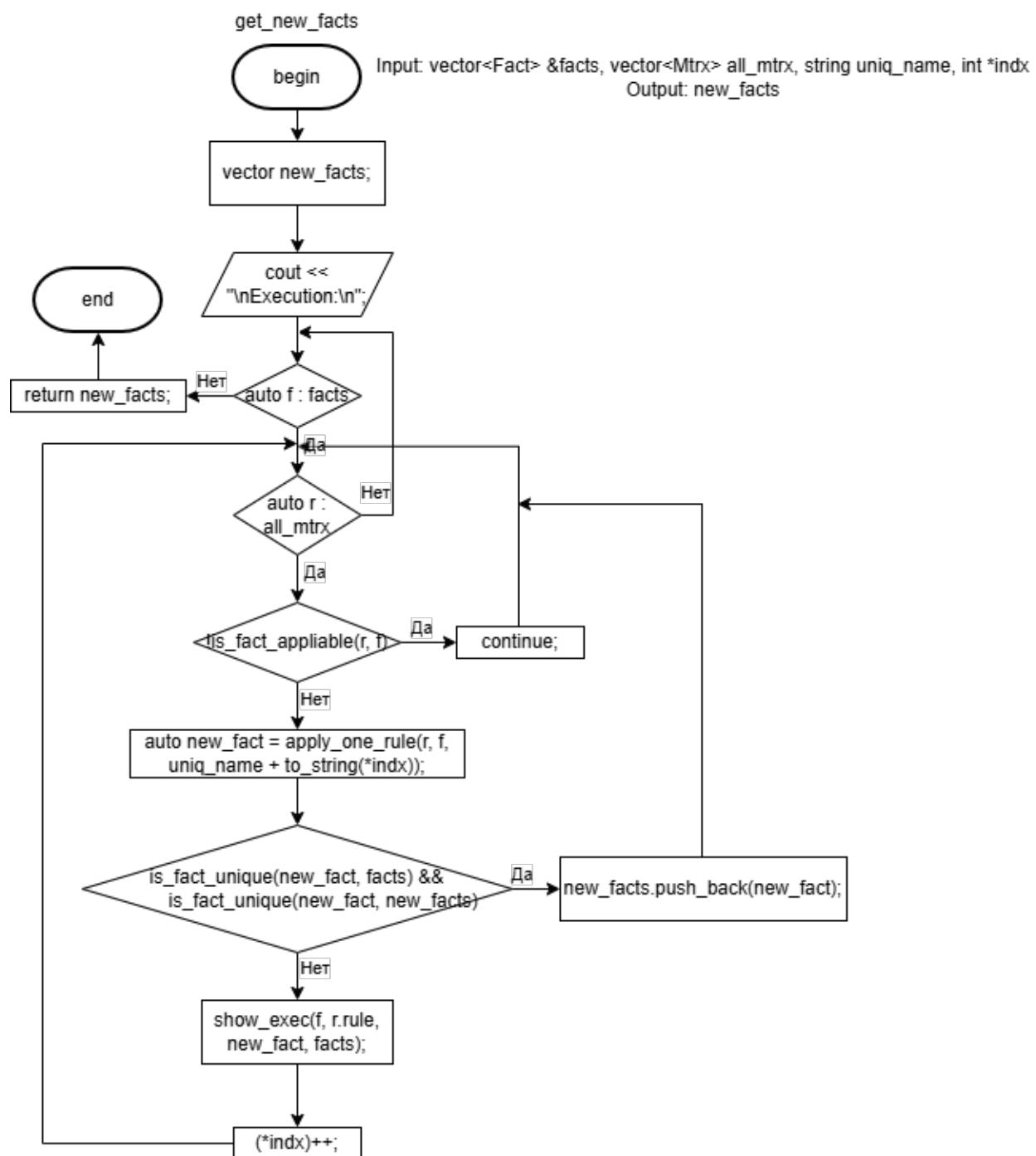


Рис. 9: Функция get\_new\_facts

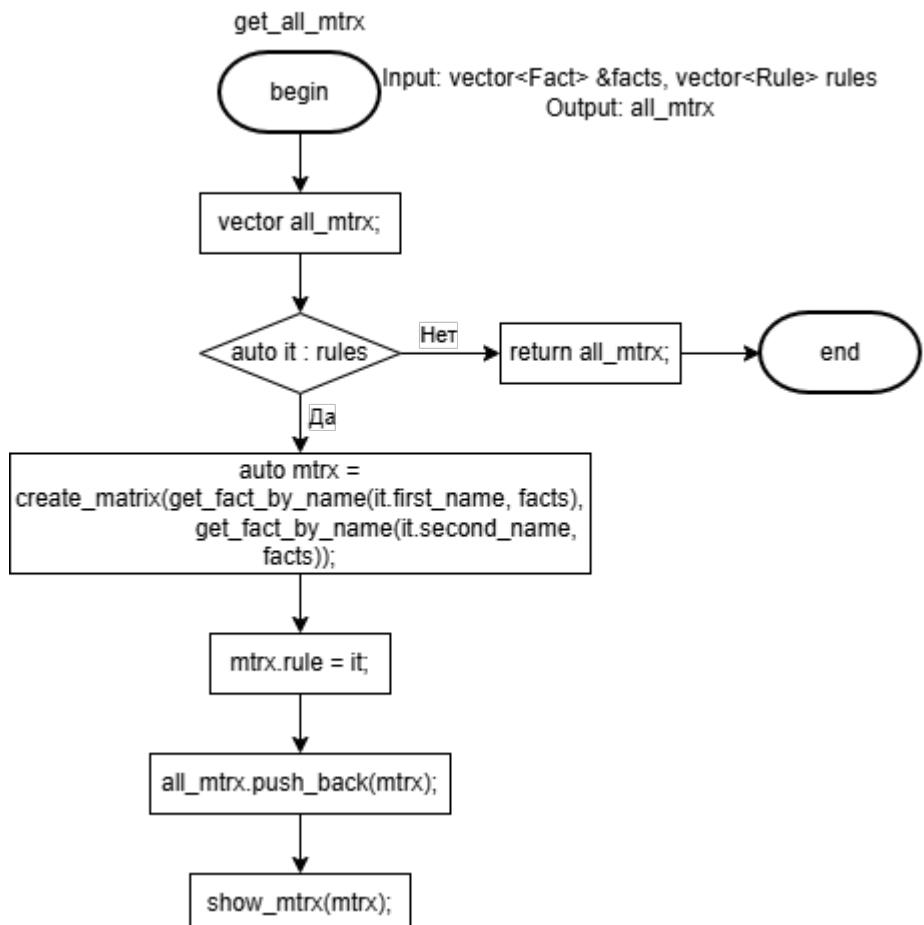


Рис. 10: Функция *get\_all\_mtrx*

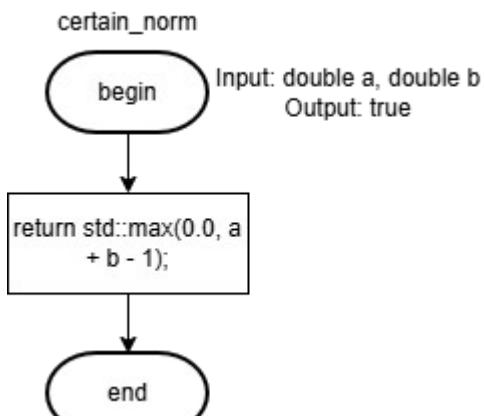


Рис. 11: Функция *certain\_norm*

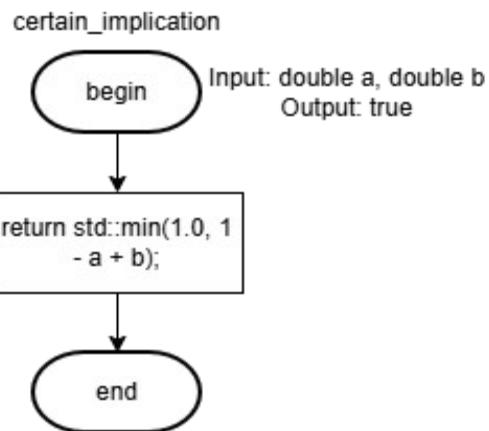


Рис. 12: Функция *certain\_implication*

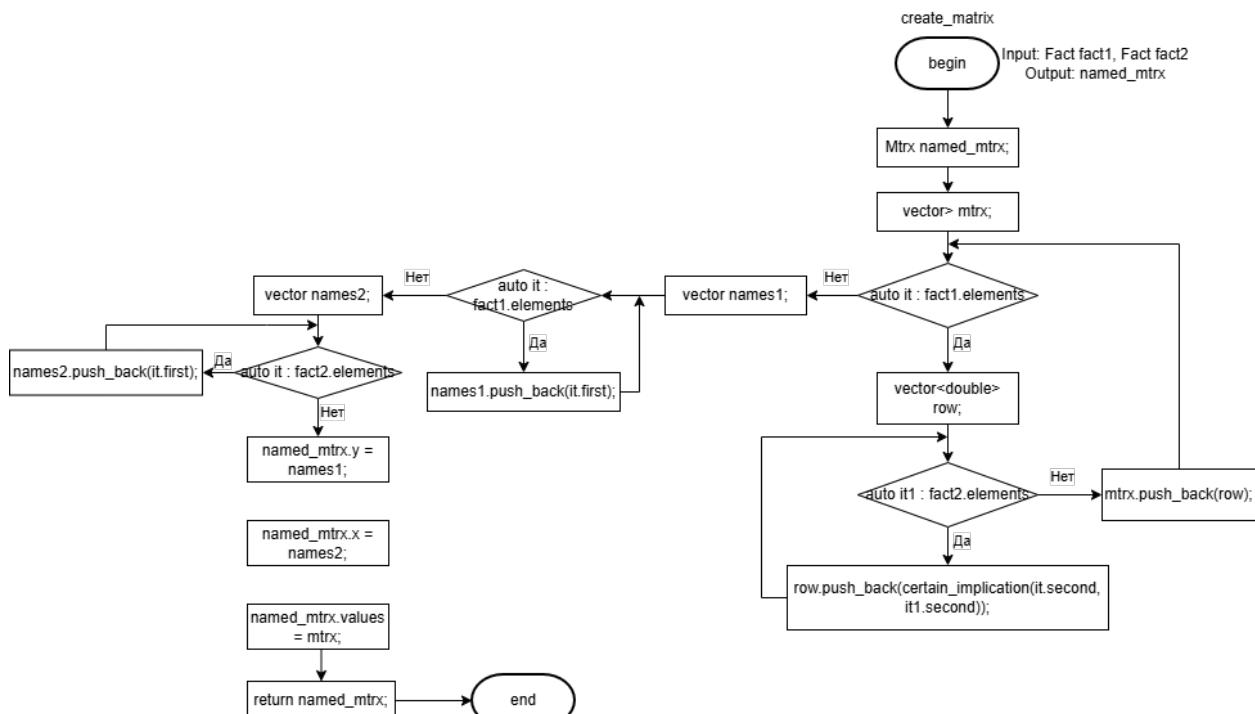


Рис. 13: Функция *create\_matrix*

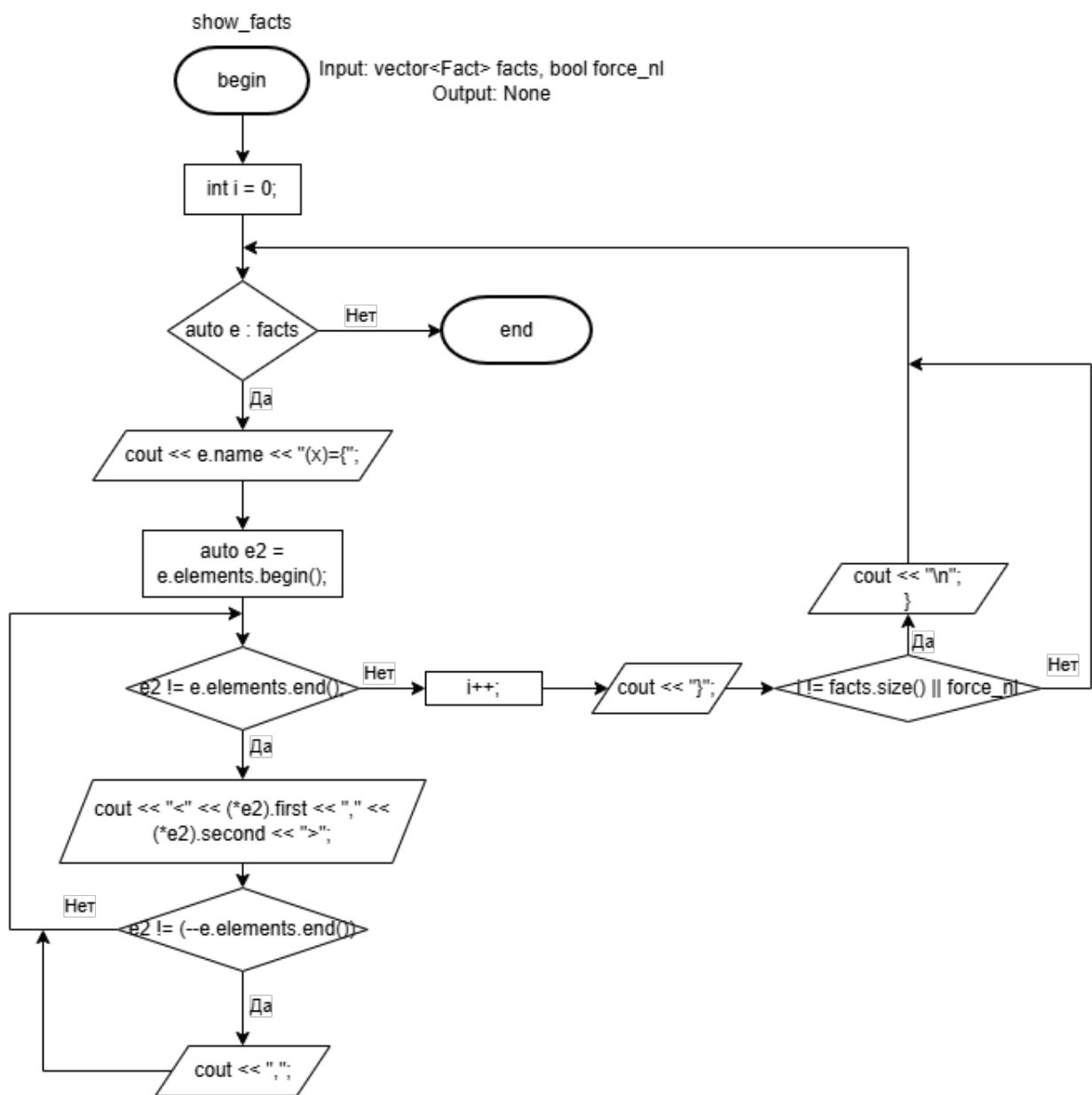


Рис. 14: Функция *show\_facts*

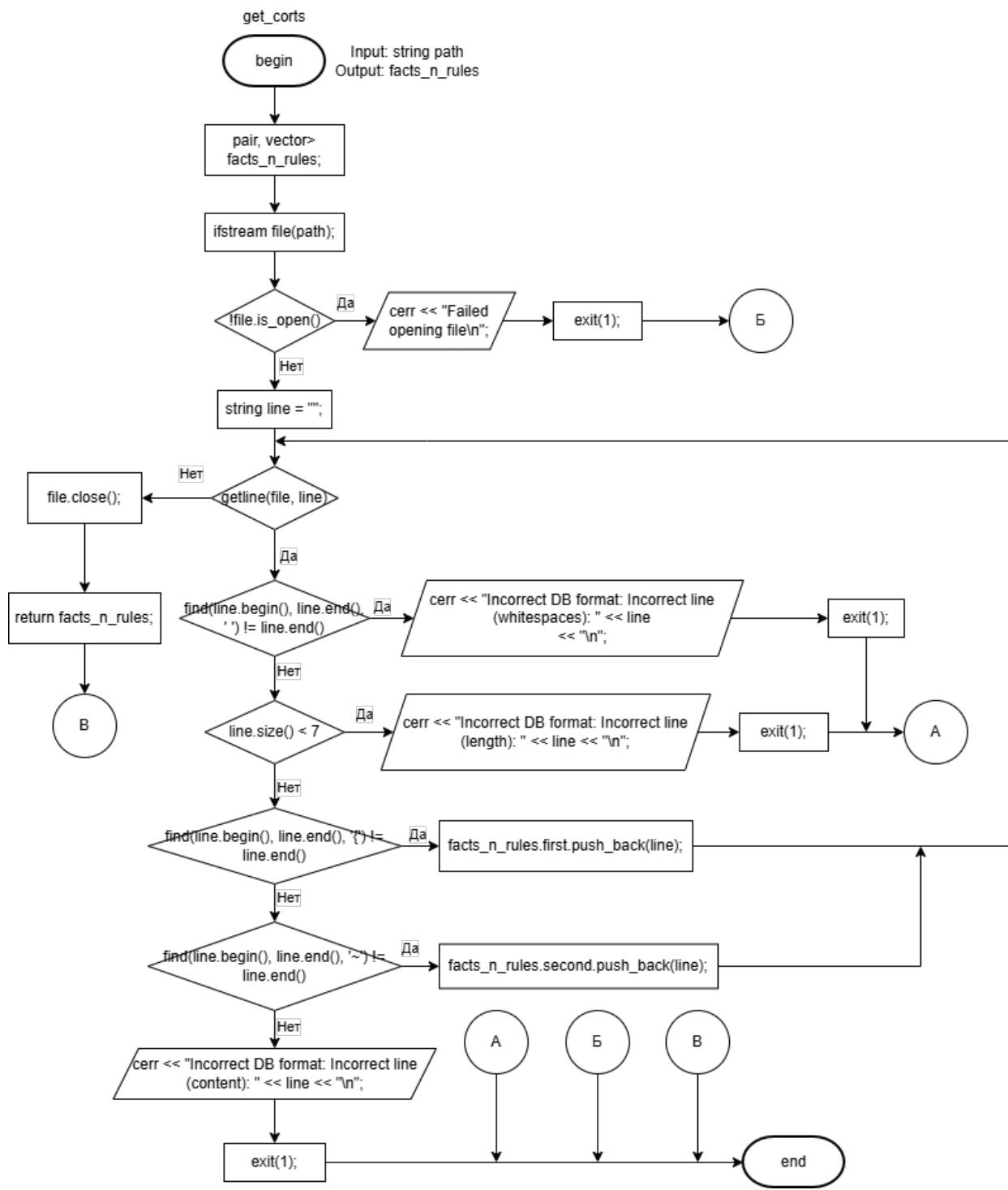


Рис. 15: Функция `load_from_file`

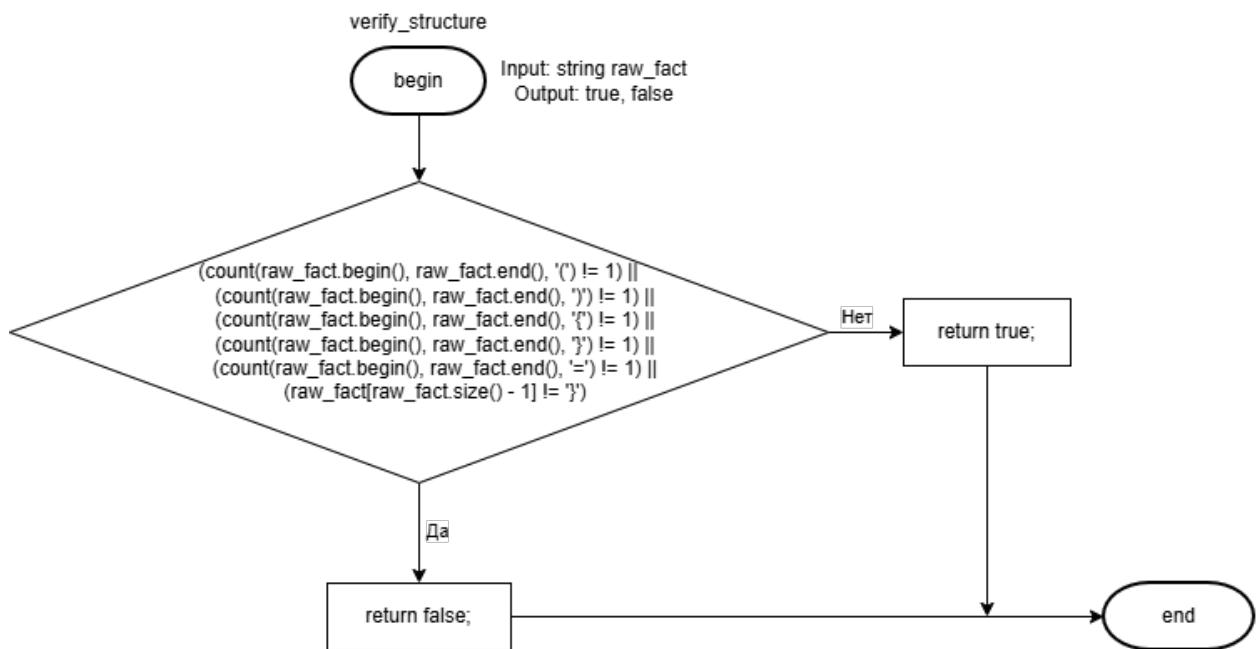


Рис. 16: Функция *verify\_structure*

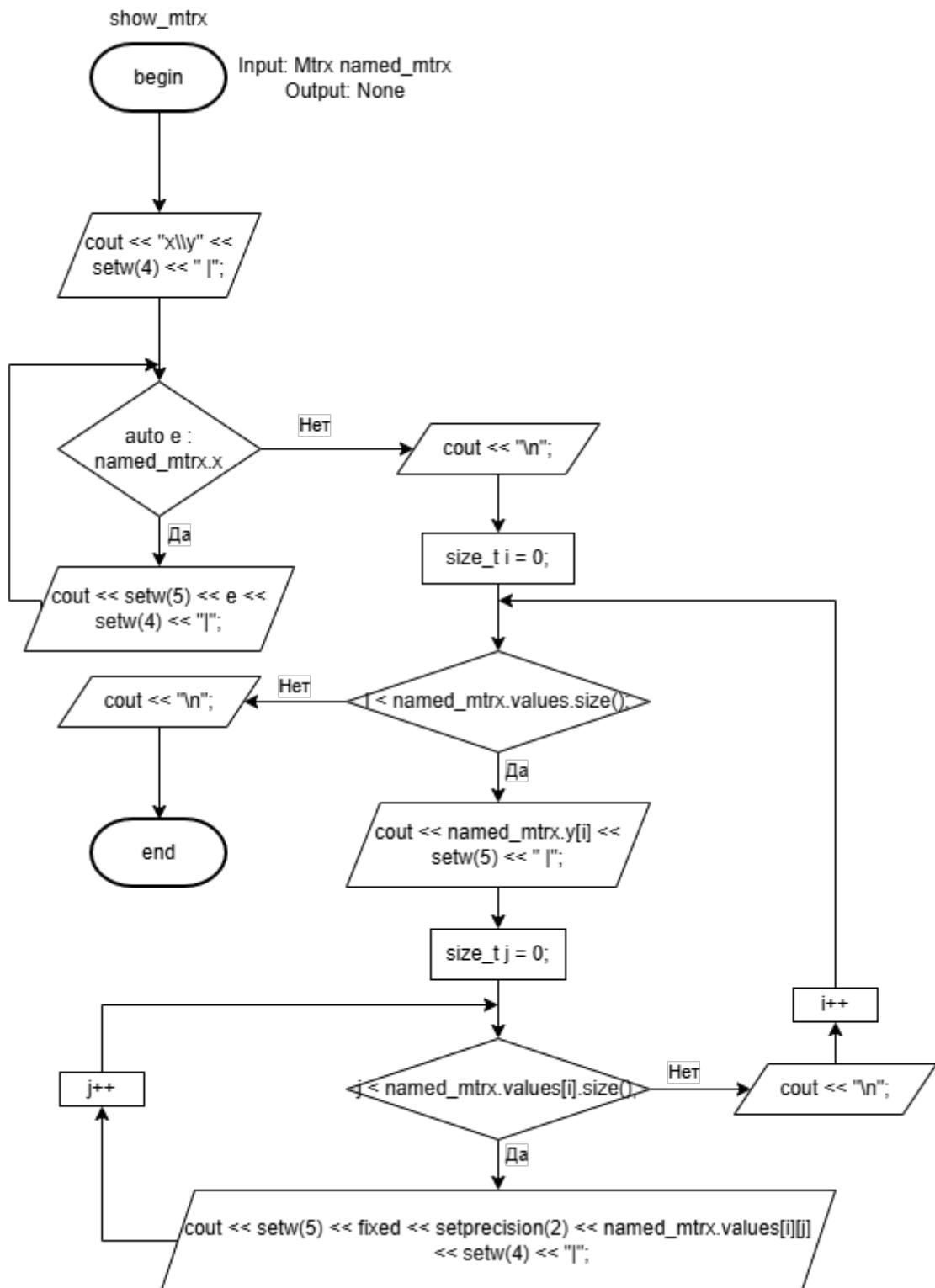


Рис. 17: Функция show\_mtrix

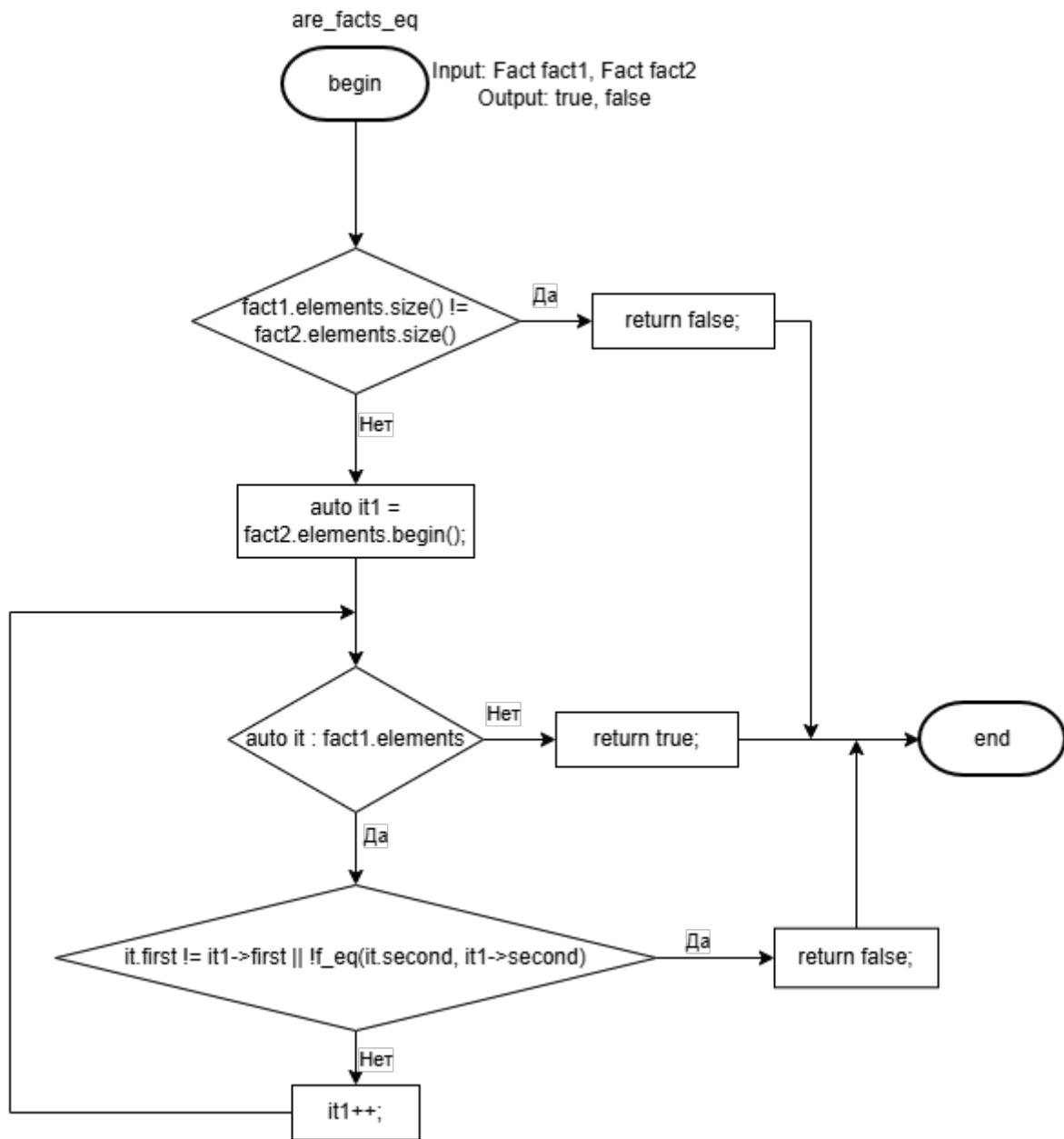


Рис. 18: Функция are\_facts\_eq

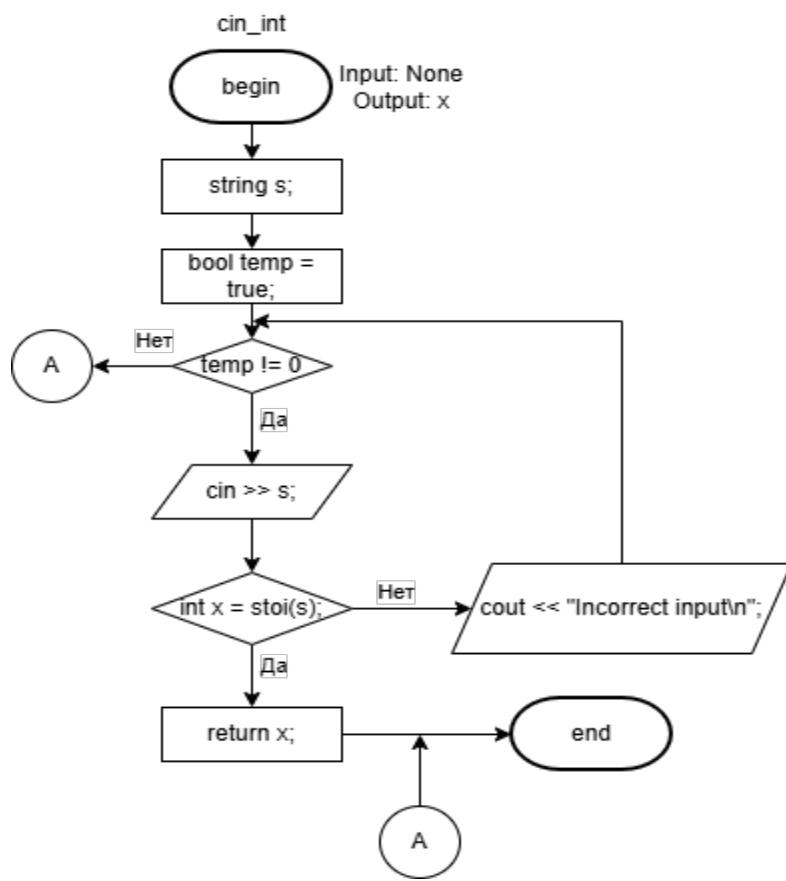


Рис. 19: Функция *cin\_int*

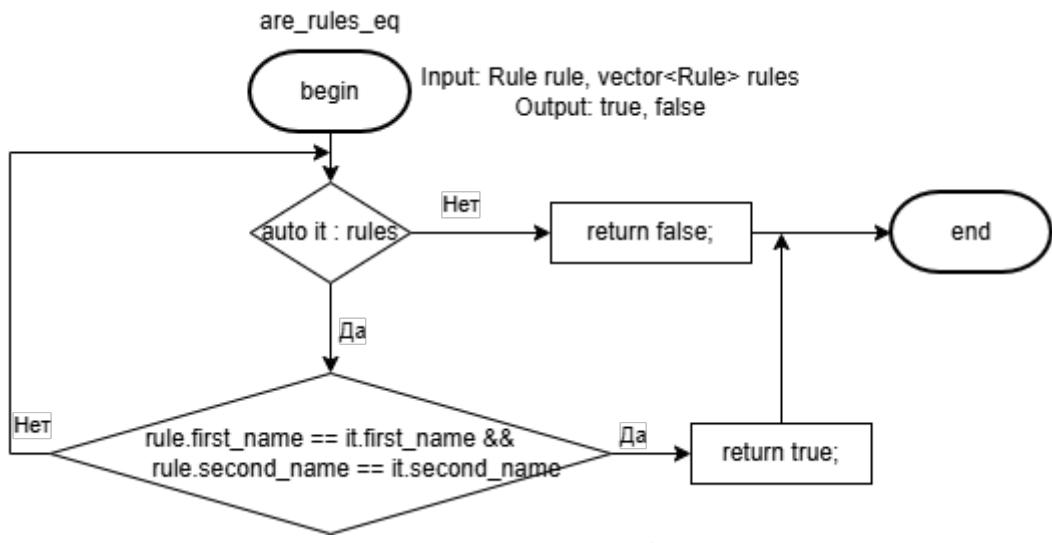


Рис. 20: Функция *are\_rules\_eq*

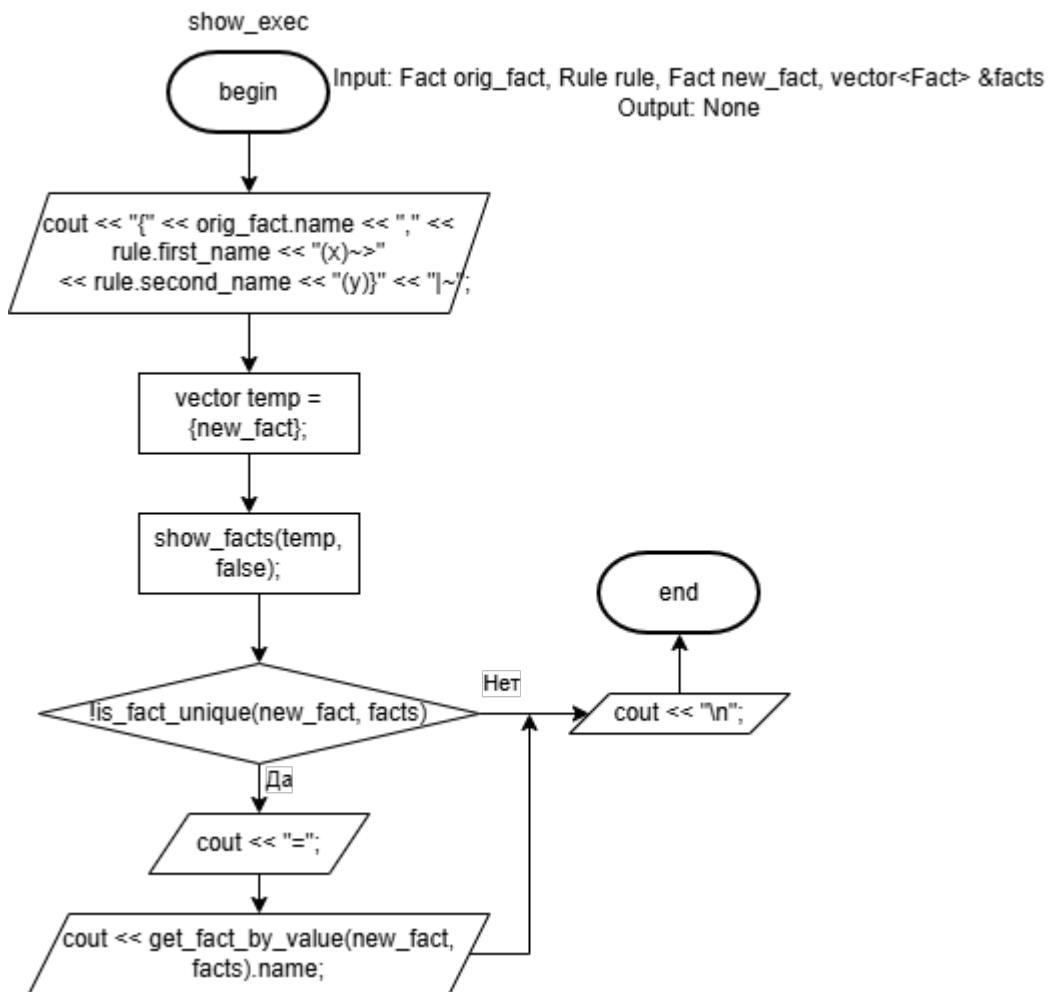


Рис. 21: Функция show\_exec

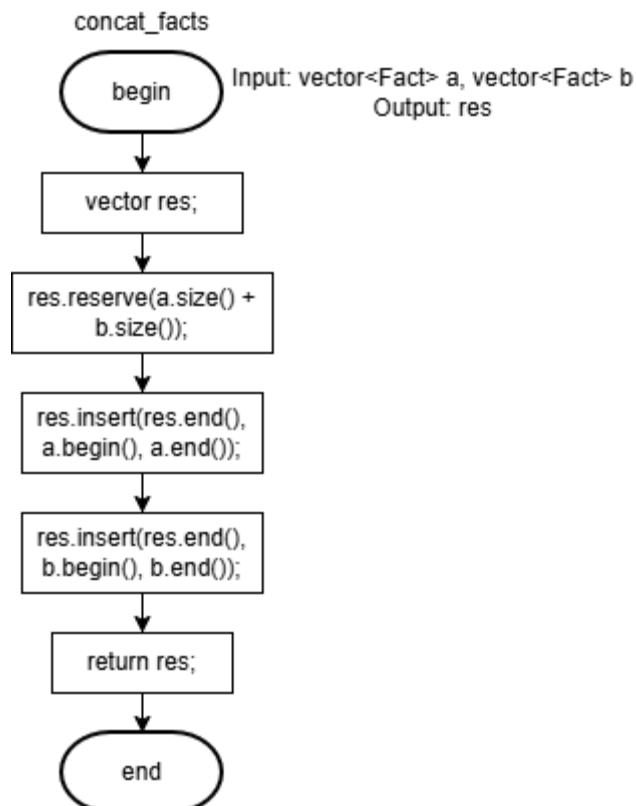


Рис. 22: Функция concat\_facts

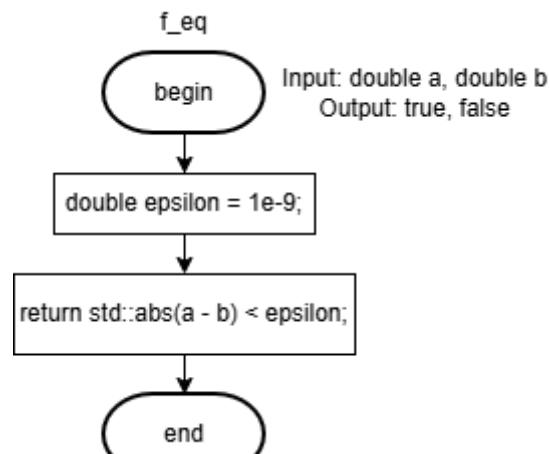


Рис. 23: Функция f\_eq

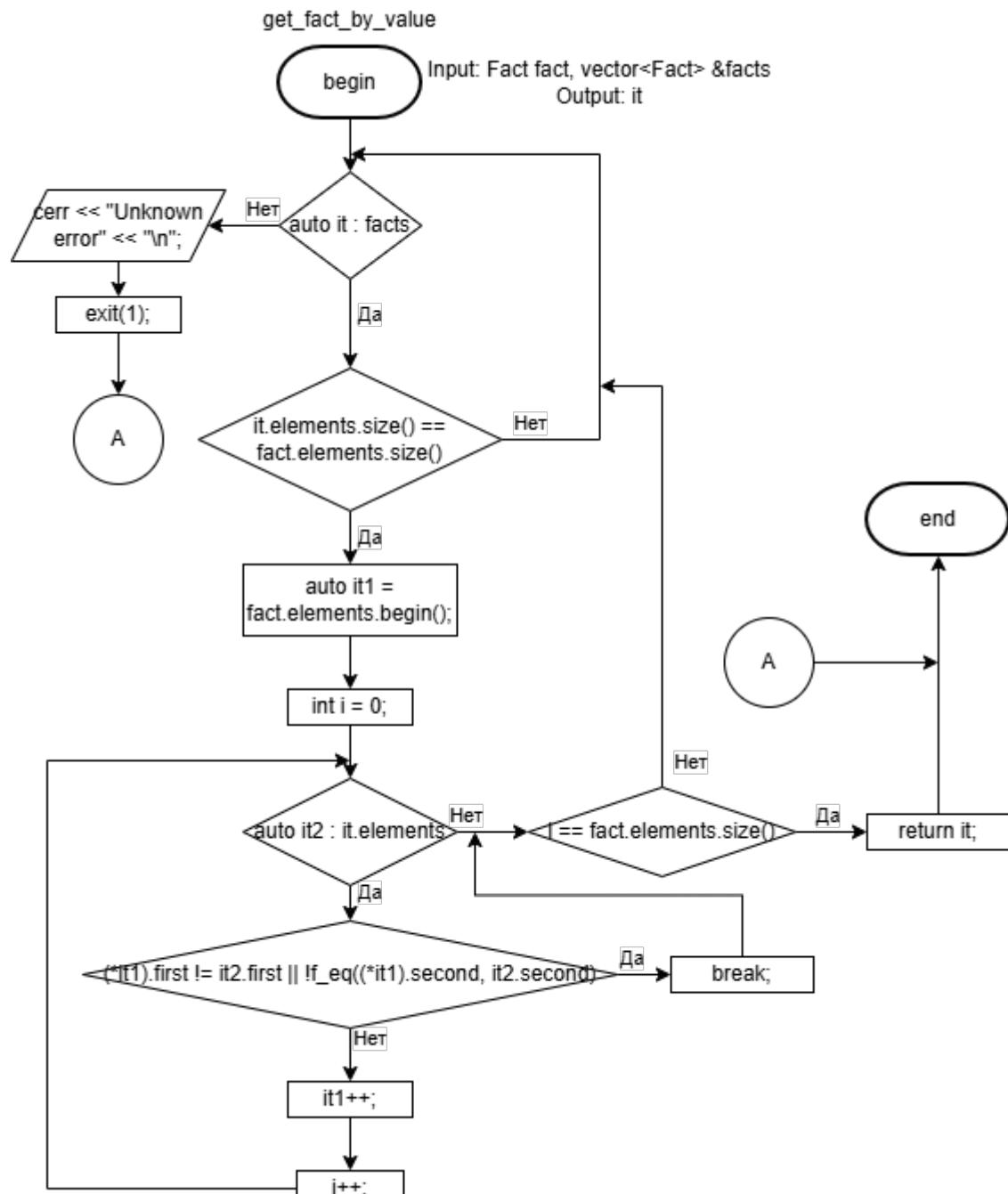


Рис. 24: Функция *get\_fact\_by\_value*

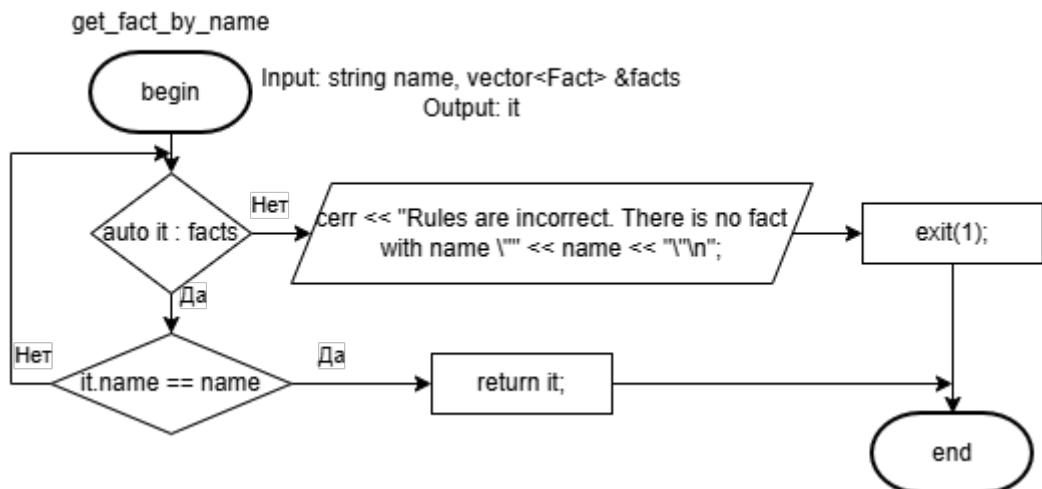


Рис. 25: Функция `get_fact_by_name`

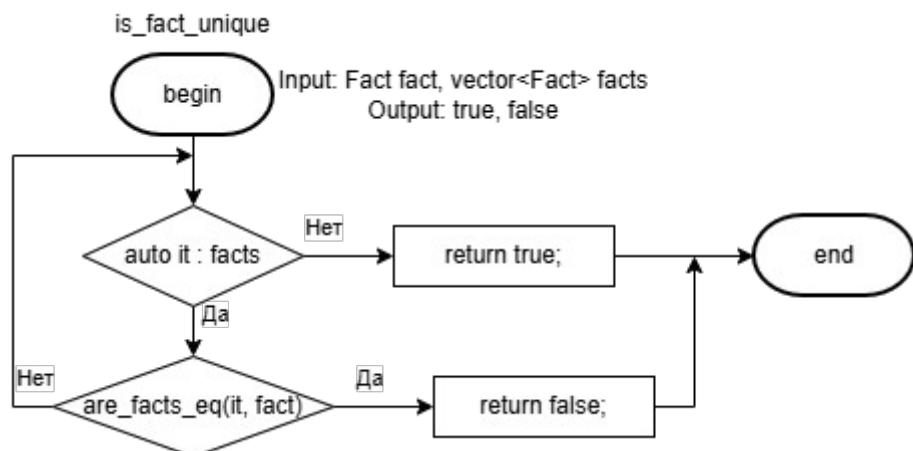


Рис. 26: Функция `is_fact_unique`

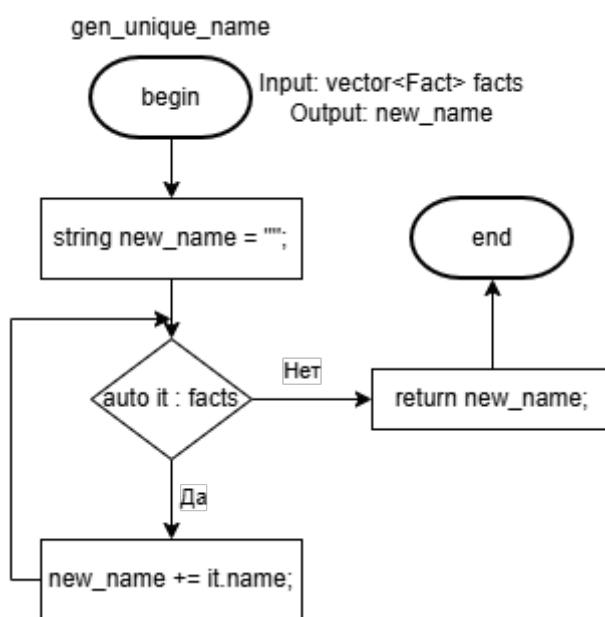


Рис. 27: Функция `gen_unique_name`

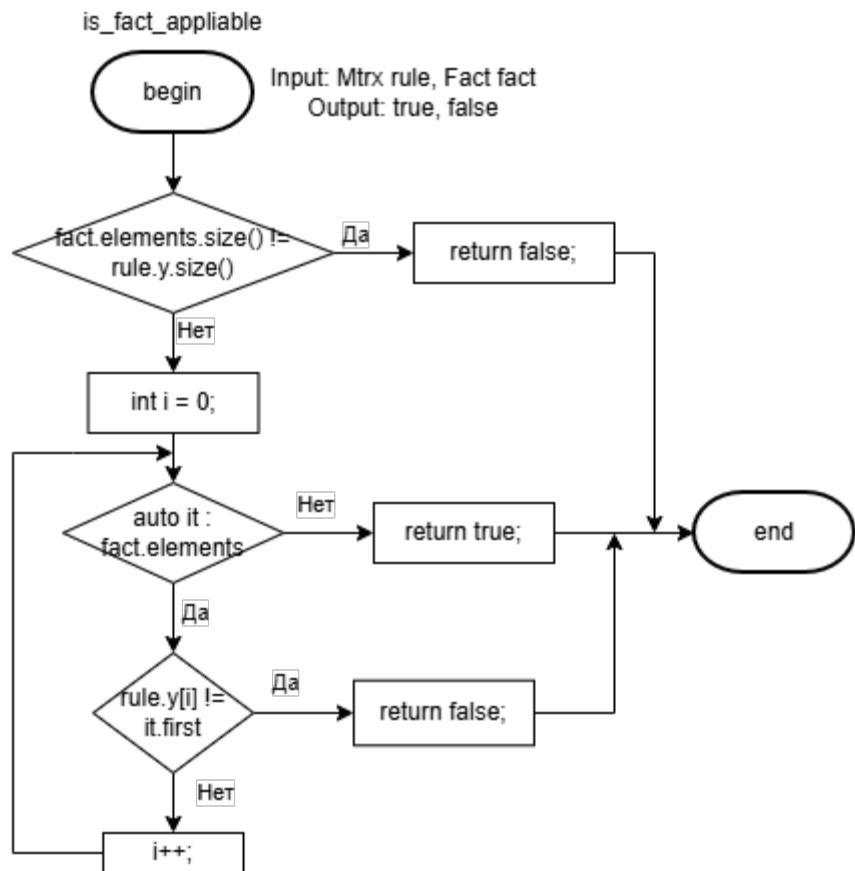


Рис. 28: Функция *is\_fact\_applicable*

## Демонстрация результатов работы программы:

```
Enemy(x)={<ork,0.3>,<mag,0.53>,<warg,0.27>}
Def(x)={<arch,0.75>,<kni,0.25>}
NewEnemies(x)={<ork,0.82>,<mag,0.7>,<warg,0.11>}
Enemy(x)~>Def(x)|
```

Рис. 29: Пример БД1

```
Input path to file: 2
Def(x)={<arch,0.75>,<kni,0.25>}
Enemy(x)={<mag,0.53>,<ork,0.3>,<warg,0.27>}
NewEnemies(x)={<mag,0.7>,<ork,0.82>,<warg,0.11>}
x\y | arch | kni |
mag | 1.00 | 0.72 |
ork | 1.00 | 0.95 |
warg | 1.00 | 0.98 |
```

```
Execution:
{Enemy, Enemy(x)~>Def(y)}|~DefEnemyNewEnemies1(x)={<arch,0.53>,<kni,0.25>}
{NewEnemies, Enemy(x)~>Def(y)}|~DefEnemyNewEnemies2(x)={<arch,0.82>,<kni,0.77>}
```

```
Updated facts:
Def(x)={<arch,0.75>,<kni,0.25>}
Enemy(x)={<mag,0.53>,<ork,0.30>,<warg,0.27>}
NewEnemies(x)={<mag,0.70>,<ork,0.82>,<warg,0.11>}
DefEnemyNewEnemies1(x)={<arch,0.53>,<kni,0.25>}
DefEnemyNewEnemies2(x)={<arch,0.82>,<kni,0.77>}
```

```
Continue? 1 - yes, 0 - no: 1
```

```
Execution:
{Enemy, Enemy(x)~>Def(y)}|~DefEnemyNewEnemies3(x)={<arch,0.53>,<kni,0.25>}=DefEnemyNewEnemies1
{NewEnemies, Enemy(x)~>Def(y)}|~DefEnemyNewEnemies4(x)={<arch,0.82>,<kni,0.77>}=DefEnemyNewEnemies2
```

```
There are no new facts.
```

```
Finishing...
```

Рис. 30: Вывод для БД1

```
Rain(x)={<strn,0.93>,<weak,0.17>}
Wind(x)={<weak,0.07>,<med,0.34>,<strn,0.86>}
RainToday(x)={<strn,0.78>,<weak,0.09>}
RainTomorrow(x)={<strn,0.99>,<weak,0.45>}
Rain(x)~>Wind(y)
```

Рис. 31: Пример БД2

```

Input path to file: 3
Rain(x)={<strn,0.93>,<weak,0.17>}
RainToday(x)={<strn,0.78>,<weak,0.09>}
RainTomorrow(x)={<strn,0.99>,<weak,0.45>}
Wind(x)={<med,0.34>,<strn,0.86>,<weak,0.07>}
x\y   | med | strn | weak |
strn | 0.41 | 0.93 | 0.14 |
weak  | 1.00 | 1.00 | 0.90 |

Execution:
{Rain,Rain(x)~>Wind(y)}|~RainRainTodayRainTomorrowWind1(x)={<med,0.34>,<strn,0.86>,<weak,0.07>}=Wind
{RainToday,Rain(x)~>Wind(y)}|~RainRainTodayRainTomorrowWind2(x)={<med,0.19>,<strn,0.71>,<weak,0.00>}
{RainTomorrow,Rain(x)~>Wind(y)}|~RainRainTodayRainTomorrowWind3(x)={<med,0.45>,<strn,0.92>,<weak,0.35>}

Updated facts:
Rain(x)={<strn,0.93>,<weak,0.17>}
RainToday(x)={<strn,0.78>,<weak,0.09>}
RainTomorrow(x)={<strn,0.99>,<weak,0.45>}
Wind(x)={<med,0.34>,<strn,0.86>,<weak,0.07>}
RainRainTodayRainTomorrowWind2(x)={<med,0.19>,<strn,0.71>,<weak,0.00>}
RainRainTodayRainTomorrowWind3(x)={<med,0.45>,<strn,0.92>,<weak,0.35>}

Continue? 1 - yes, 0 - no: 1

Execution:
{Rain,Rain(x)~>Wind(y)}|~RainRainTodayRainTomorrowWind4(x)={<med,0.34>,<strn,0.86>,<weak,0.07>}=Wind
{RainToday,Rain(x)~>Wind(y)}|~RainRainTodayRainTomorrowWind5(x)={<med,0.19>,<strn,0.71>,<weak,0.00>}=RainRainTodayRainTomorrowWind2
{RainTomorrow,Rain(x)~>Wind(y)}|~RainRainTodayRainTomorrowWind6(x)={<med,0.45>,<strn,0.92>,<weak,0.35>}=RainRainTodayRainTomorrowWind3

There are no new facts.
Finishing...

```

*Рис. 32: Вывод для БД2*

```

A(x)={<x1,0.0>,<x2,0.1>,<x3,0.3>,<x4,1.0>}
B(x)={<y1,1.0>,<y2,0.8>,<y3,0.2>,<y4,0.0>,<y5,0.0>}
C(x)={<x1,0.1>,<x2,1.0>,<x3,0.3>,<x4,0.0>}
A(x)~>B(y)
C(x)~>A(y)

```

*Рис. 33: Пример БД3*

```

Input path to file: 4
A(x)={<x1,0>,<x2,0.1>,<x3,0.3>,<x4,1>}
B(x)={<y1,1>,<y2,0.8>,<y3,0.2>,<y4,0>,<y5,0>}
C(x)={<x1,0.1>,<x2,1>,<x3,0.3>,<x4,0>}
x\y | y1 | y2 | y3 | y4 | y5 |
x1 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
x2 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.90 | 0.90 |
x3 | 1.00 | 1.00 | 0.90 | 0.70 | 0.70 |
x4 | 1.00 | 0.80 | 0.20 | 0.00 | 0.00 |

x\y | x1 | x2 | x3 | x4 |
x1 | 0.90 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
x2 | 0.00 | 0.10 | 0.30 | 1.00 |
x3 | 0.70 | 0.80 | 1.00 | 1.00 |
x4 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

```

Execution:

```

{A,A(x)->B(y)}|~ABC1(x)={<y1,1.00>,<y2,0.80>,<y3,0.20>,<y4,0.00>,<y5,0.00>}=B
{A,C(x)->A(y)}|~ABC2(x)={<x1,1.00>,<x2,1.00>,<x3,1.00>,<x4,1.00>}
{C,A(x)->B(y)}|~ABC3(x)={<y1,1.00>,<y2,1.00>,<y3,1.00>,<y4,0.90>,<y5,0.90>}
{C,C(x)->A(y)}|~ABC4(x)={<x1,0.00>,<x2,0.10>,<x3,0.30>,<x4,1.00>}=A

```

Updated facts:

```

A(x)={<x1,0.00>,<x2,0.10>,<x3,0.30>,<x4,1.00>}
B(x)={<y1,1.00>,<y2,0.80>,<y3,0.20>,<y4,0.00>,<y5,0.00>}
C(x)={<x1,0.10>,<x2,1.00>,<x3,0.30>,<x4,0.00>}
ABC2(x)={<x1,1.00>,<x2,1.00>,<x3,1.00>,<x4,1.00>}
ABC3(x)={<y1,1.00>,<y2,1.00>,<y3,1.00>,<y4,0.90>,<y5,0.90>}

```

Continue? 1 - yes, 0 - no: 1

Execution:

```

{A,A(x)->B(y)}|~ABC5(x)={<y1,1.00>,<y2,0.80>,<y3,0.20>,<y4,0.00>,<y5,0.00>}=B
{A,C(x)->A(y)}|~ABC6(x)={<x1,1.00>,<x2,1.00>,<x3,1.00>,<x4,1.00>}=ABC2
{C,A(x)->B(y)}|~ABC7(x)={<y1,1.00>,<y2,1.00>,<y3,1.00>,<y4,0.90>,<y5,0.90>}=ABC3
{C,C(x)->A(y)}|~ABC8(x)={<x1,0.00>,<x2,0.10>,<x3,0.30>,<x4,1.00>}=A
{ABC2,A(x)->B(y)}|~ABC9(x)={<y1,1.00>,<y2,1.00>,<y3,1.00>,<y4,1.00>,<y5,1.00>}
{ABC2,C(x)->A(y)}|~ABC10(x)={<x1,1.00>,<x2,1.00>,<x3,1.00>,<x4,1.00>}=ABC2

```

Updated facts:

```

A(x)={<x1,0.00>,<x2,0.10>,<x3,0.30>,<x4,1.00>}
B(x)={<y1,1.00>,<y2,0.80>,<y3,0.20>,<y4,0.00>,<y5,0.00>}
C(x)={<x1,0.10>,<x2,1.00>,<x3,0.30>,<x4,0.00>}
ABC2(x)={<x1,1.00>,<x2,1.00>,<x3,1.00>,<x4,1.00>}
ABC3(x)={<y1,1.00>,<y2,1.00>,<y3,1.00>,<y4,0.90>,<y5,0.90>}
ABC9(x)={<y1,1.00>,<y2,1.00>,<y3,1.00>,<y4,1.00>,<y5,1.00>}

```

Continue? 1 - yes, 0 - no: 1

Execution:

```

{A,A(x)->B(y)}|~ABC11(x)={<y1,1.00>,<y2,0.80>,<y3,0.20>,<y4,0.00>,<y5,0.00>}=B
{A,C(x)->A(y)}|~ABC12(x)={<x1,1.00>,<x2,1.00>,<x3,1.00>,<x4,1.00>}=ABC2
{C,A(x)->B(y)}|~ABC13(x)={<y1,1.00>,<y2,1.00>,<y3,1.00>,<y4,0.90>,<y5,0.90>}=ABC3
{C,C(x)->A(y)}|~ABC14(x)={<x1,0.00>,<x2,0.10>,<x3,0.30>,<x4,1.00>}=A
{ABC2,A(x)->B(y)}|~ABC15(x)={<y1,1.00>,<y2,1.00>,<y3,1.00>,<y4,1.00>,<y5,1.00>}=ABC9
{ABC2,C(x)->A(y)}|~ABC16(x)={<x1,1.00>,<x2,1.00>,<x3,1.00>,<x4,1.00>}=ABC2

```

There are no new facts.

Finishing...

Рис. 34: Вывод для БДЗ

```

As(x)={<x1,0.34>,<x2,0.88>}
An(x)={<x1,1>,<x2,0.25>}
Al(x)={<x1,0.21>,<x2,0.65>}
Bs(x)={<y1,0.44>,<y2,0.56>}
Bn(x)={<y1,0.12>,<y2,1>}
Bl(x)={<y1,0.19>,<y2,0.31>}
As(x)~>Bs(x)
As(x)~>Bn(x)
As(x)~>Bl(x)
An(x)~>Bs(x)
An(x)~>Bn(x)
An(x)~>Bl(x)
Al(x)~>Bs(x)
Al(x)~>Bn(x)
Al(x)~>Bl(x)

```

*Рис. 35: Пример БД4*

**Execution:**

```

{Al,As(x)~>Bs(y)}|~AlAnAsBlBnBs1(x)={<y1,0.21>,<y2,0.33>}
{Al,As(x)~>Bn(y)}|~AlAnAsBlBnBs2(x)={<y1,0.00>,<y2,0.65>}
{Al,As(x)~>Bl(y)}|~AlAnAsBlBnBs3(x)={<y1,0.06>,<y2,0.18>}
{Al,An(x)~>Bs(y)}|~AlAnAsBlBnBs4(x)={<y1,0.65>,<y2,0.65>}
{Al,An(x)~>Bn(y)}|~AlAnAsBlBnBs5(x)={<y1,0.52>,<y2,0.65>}
{Al,An(x)~>Bl(y)}|~AlAnAsBlBnBs6(x)={<y1,0.59>,<y2,0.65>}
{Al,Al(x)~>Bs(y)}|~AlAnAsBlBnBs7(x)={<y1,0.44>,<y2,0.56>}=Bs
{Al,Al(x)~>Bn(y)}|~AlAnAsBlBnBs8(x)={<y1,0.12>,<y2,0.65>}
{Al,Al(x)~>Bl(y)}|~AlAnAsBlBnBs9(x)={<y1,0.19>,<y2,0.31>}=Bl
{An,As(x)~>Bs(y)}|~AlAnAsBlBnBs10(x)={<y1,1.00>,<y2,1.00>}
{An,As(x)~>Bn(y)}|~AlAnAsBlBnBs11(x)={<y1,0.78>,<y2,1.00>}
{An,As(x)~>Bl(y)}|~AlAnAsBlBnBs12(x)={<y1,0.85>,<y2,0.97>}
{An,An(x)~>Bs(y)}|~AlAnAsBlBnBs13(x)={<y1,0.44>,<y2,0.56>}=Bs
{An,An(x)~>Bn(y)}|~AlAnAsBlBnBs14(x)={<y1,0.12>,<y2,1.00>}=Bn
{An,An(x)~>Bl(y)}|~AlAnAsBlBnBs15(x)={<y1,0.19>,<y2,0.31>}=Bl
{An,Al(x)~>Bs(y)}|~AlAnAsBlBnBs16(x)={<y1,1.00>,<y2,1.00>}
{An,Al(x)~>Bn(y)}|~AlAnAsBlBnBs17(x)={<y1,0.91>,<y2,1.00>}
{An,Al(x)~>Bl(y)}|~AlAnAsBlBnBs18(x)={<y1,0.98>,<y2,1.00>}
{As,As(x)~>Bs(y)}|~AlAnAsBlBnBs19(x)={<y1,0.44>,<y2,0.56>}=Bs
{As,As(x)~>Bn(y)}|~AlAnAsBlBnBs20(x)={<y1,0.12>,<y2,0.88>}
{As,As(x)~>Bl(y)}|~AlAnAsBlBnBs21(x)={<y1,0.19>,<y2,0.31>}=Bl
{As,An(x)~>Bs(y)}|~AlAnAsBlBnBs22(x)={<y1,0.88>,<y2,0.88>}
{As,An(x)~>Bn(y)}|~AlAnAsBlBnBs23(x)={<y1,0.75>,<y2,0.88>}
{As,An(x)~>Bl(y)}|~AlAnAsBlBnBs24(x)={<y1,0.82>,<y2,0.88>}
{As,Al(x)~>Bs(y)}|~AlAnAsBlBnBs25(x)={<y1,0.67>,<y2,0.79>}
{As,Al(x)~>Bn(y)}|~AlAnAsBlBnBs26(x)={<y1,0.35>,<y2,0.88>}
{As,Al(x)~>Bl(y)}|~AlAnAsBlBnBs27(x)={<y1,0.42>,<y2,0.54>}

```

*Рис. 36.1: Вывод для БД4*

Updated facts:

Al(x)={<x1,0.21>,<x2,0.65>}  
An(x)={<x1,1.00>,<x2,0.25>}  
As(x)={<x1,0.34>,<x2,0.88>}  
Bl(x)={<y1,0.19>,<y2,0.31>}  
Bn(x)={<y1,0.12>,<y2,1.00>}  
Bs(x)={<y1,0.44>,<y2,0.56>}  
AlAnAsBlBnBs1(x)={<y1,0.21>,<y2,0.33>}  
AlAnAsBlBnBs2(x)={<y1,0.00>,<y2,0.65>}  
AlAnAsBlBnBs3(x)={<y1,0.06>,<y2,0.18>}  
AlAnAsBlBnBs4(x)={<y1,0.65>,<y2,0.65>}  
AlAnAsBlBnBs5(x)={<y1,0.52>,<y2,0.65>}  
AlAnAsBlBnBs6(x)={<y1,0.59>,<y2,0.65>}  
AlAnAsBlBnBs8(x)={<y1,0.12>,<y2,0.65>}  
AlAnAsBlBnBs10(x)={<y1,1.00>,<y2,1.00>}  
AlAnAsBlBnBs11(x)={<y1,0.78>,<y2,1.00>}  
AlAnAsBlBnBs12(x)={<y1,0.85>,<y2,0.97>}  
AlAnAsBlBnBs17(x)={<y1,0.91>,<y2,1.00>}  
AlAnAsBlBnBs18(x)={<y1,0.98>,<y2,1.00>}  
AlAnAsBlBnBs20(x)={<y1,0.12>,<y2,0.88>}  
AlAnAsBlBnBs22(x)={<y1,0.88>,<y2,0.88>}  
AlAnAsBlBnBs23(x)={<y1,0.75>,<y2,0.88>}  
AlAnAsBlBnBs24(x)={<y1,0.82>,<y2,0.88>}  
AlAnAsBlBnBs25(x)={<y1,0.67>,<y2,0.79>}  
AlAnAsBlBnBs26(x)={<y1,0.35>,<y2,0.88>}  
AlAnAsBlBnBs27(x)={<y1,0.42>,<y2,0.54>}

Continue? 1 - yes, 0 - no: 0

Рис. 36.2: Вывод для БД4

## Ответы на вопросы:

```
As(x)={<x1, 0.34>, <x2, 0.88>}  
An(x)={<x1, 1>, <x2, 0.25>}  
Al(x)={<x1, 0.21>, <x2, 0.65>}  
Bs(x)={<y1, 0.44>, <y2, 0.56>}  
Bn(x)={<y1, 0.12>, <y2, 1>}  
Bl(x)={<y1, 0.19>, <y2, 0.31>}
```

Рис. 37: Исходные множества

1. При каких  $A'(x)$  можно получить субнормальное нечеткое множество  $B'(y)$  когда посылка и заключение нечеткой импликации являются нормальными нечеткими множествами?

Ответ:  $B'(y)$  субнормально, когда  $A'(x)$  субнормально во всех точках  $x$ , где значения принадлежности  $A(x)$  и  $B(y)$  максимальны.

```
{Al, An(x) ~> Bn(y)} | ~AlAnAsBlBnBs5(x) = {<y1, 0.52>, <y2, 0.65>}
```

Рис. 38

2. При каких  $A'(x)$  можно получить нормальное нечеткое множество  $B'(y)$  когда посылка и заключение нечеткой импликации являются субнормальными нечеткими множествами?

Ответ: Для получения нормального  $B'(y)$  необходимо и достаточно, чтобы  $A'(x)$  было нормальным хотя бы в одной точке  $x$ , где значение принадлежности посылки  $A(x)$  не превосходит значения заключения  $B(y)$  для некоторого  $y$ .

```
{An, As(x) ~> Bs(y)} | ~AlAnAsBlBnBs10(x) = {<y1, 1.00>, <y2, 1.00>}
```

Рис. 39

3. Можно ли получить  $B'(y) = B(y)$  когда посылка и заключения нормальные?

Ответ: Такое возможно только в одном частном случае: если  $A'(x) = A(x)$ .

```
{An, An(x) ~> Bn(y)} | ~AlAnAsBlBnBs14(x) = {<y1, 0.12>, <y2, 1.00>} = Bn
```

Рис. 40

4. Можно ли получить  $B'(y) = B(y)$  когда посылка и заключения субнормальные?

Ответ: Да, получить  $B'(y) = B(y)$  при субнормальных посылке и заключении можно в частном случае, если  $A'(x) = A(x)$ .

```
{As, As(x) ~> Bs(y)} | ~AlAnAsBlBnBs19(x) = {<y1, 0.44>, <y2, 0.56>} = Bs
```

Рис. 41

5. Можно ли получить  $B'(y) = B(y)$  когда посылка нормальное нечеткое множество а заключение субнормальное?

Ответ: Да, если  $A'(x) = A(x)$ .

```
{An, An(x) ~> Bs(y)} | ~AlAnAsBlBnBs13(x) = {<y1, 0.44>, <y2, 0.56>} = Bs
```

Рис. 42

6. Можно ли получить  $B'(y) = B(y)$  когда посылка субнормальное нечеткое множество а заключение нормальное?

Ответ: Нет, поскольку максимальное значение  $B'(y)$  будет ограничено максимальным значением принадлежности  $A(x)$ , которое меньше 1, а  $B(y)$  достигает 1.

### Дополнительно:

Пример прямого нечёткого логического вывода:

Даны два нечётких предиката и правило:

$$A(x) = \{ \langle x1, 0.0 \rangle, \langle x2, 0.1 \rangle, \langle x3, 0.3 \rangle, \langle x4, 1.0 \rangle \}$$

$$C(x) = \{ \langle y1, 0.1 \rangle, \langle y2, 1.0 \rangle, \langle y3, 0.3 \rangle, \langle y4, 0.0 \rangle \}$$

$$C(x) \sim > A(y)$$

Тогда импликация Лукасевича будет задавать бинарный предикат, которому соответствует матрица:

x\y	x1	x2	x3	x4
y1	0.9	1.0	1.0	1.0
y2	0.0	0.1	0.3	1.0
y3	0.7	0.8	1.0	1.0
y4	1.0	1.0	1.0	1.0

Пусть есть посылка:

$$D(x) = \{ \langle y1, 0.4 \rangle, \langle y2, 0.0 \rangle, \langle y3, 0.8 \rangle, \langle y4, 0.2 \rangle \}$$

Тогда результатом прямого вывода будет:

$$\{ \langle x1, 0.50 \rangle, \langle x2, 0.60 \rangle, \langle x3, 0.80 \rangle, \langle x4, 0.80 \rangle \}$$

Так как (используется Т-норма Лукасевича):

0.4	0.9	1.0	1.0	1.0	0.3	0.4	0.4	0.4
0.0	0.0	0.1	0.3	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.8	0.7	0.8	1.0	1.0	0.5	0.6	0.8	0.8
0.2	1.0	1.0	1.0	1.0	0.2	0.2	0.2	0.2

$$\max(0.3, 0.0, 0.5, 0.2) = 0.5$$

$$\max(0.4, 0.0, 0.6, 0.2) = 0.6$$

$$\max(0.4, 0.0, 0.8, 0.2) = 0.8$$

$$\max(0.4, 0.0, 0.8, 0.2) = 0.8$$

**Вывод:**

В процессе выполнения лабораторной работы, мы получили навыки реализации нечёткой логики, а именно прямого нечёткого логического вывода при помощи программирования. В рамках данной работы были разработаны модули, отвечающие за анализ исходного текста базы знаний, а также непосредственно алгоритм прямого нечёткого логического вывода. При помощи разработанного программного продукта нам удалось построить корректные выводы для нескольких случаев, а также дать ответы на контрольные вопросы, прилагающиеся к лабораторной работе.

**Источники:**

1. Логические основы интеллектуальных систем. Практикум: учебно-методическое пособие / В. В. Голенков, В. П. Иващенко, Д. Г. Колб, К. А. Уваров. – Минск: БГУИР, 2011.
2. Леоненков А. В. Л47 Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
3. AIML [Электронный ресурс]. -- Режим доступа:  
<https://www.youtube.com/channel/UCfelJa0QIJWwPEZ6XNbNRyA>
4. Автор выражает искреннюю благодарность А.В. Титову за предоставленные теоретические материалы по дисциплине «Логические основы интеллектуальных систем», использованные при подготовке настоящей работы.