

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. Ивашенко

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 нечётких 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, называемого заключением. Предикат, выражающий правило импликативного вида на основании известных причины и следствия:

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

Прямой нечеткий логический вывод – подразумевает известность некоторой пары нечётких 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 нечёткими предикатами. Результат (следствие) также является нечётким предикатом:

$$(B(\gamma) = A(\chi) \circledast R(\chi, \gamma))$$

$$B(\gamma) = ?$$

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

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:

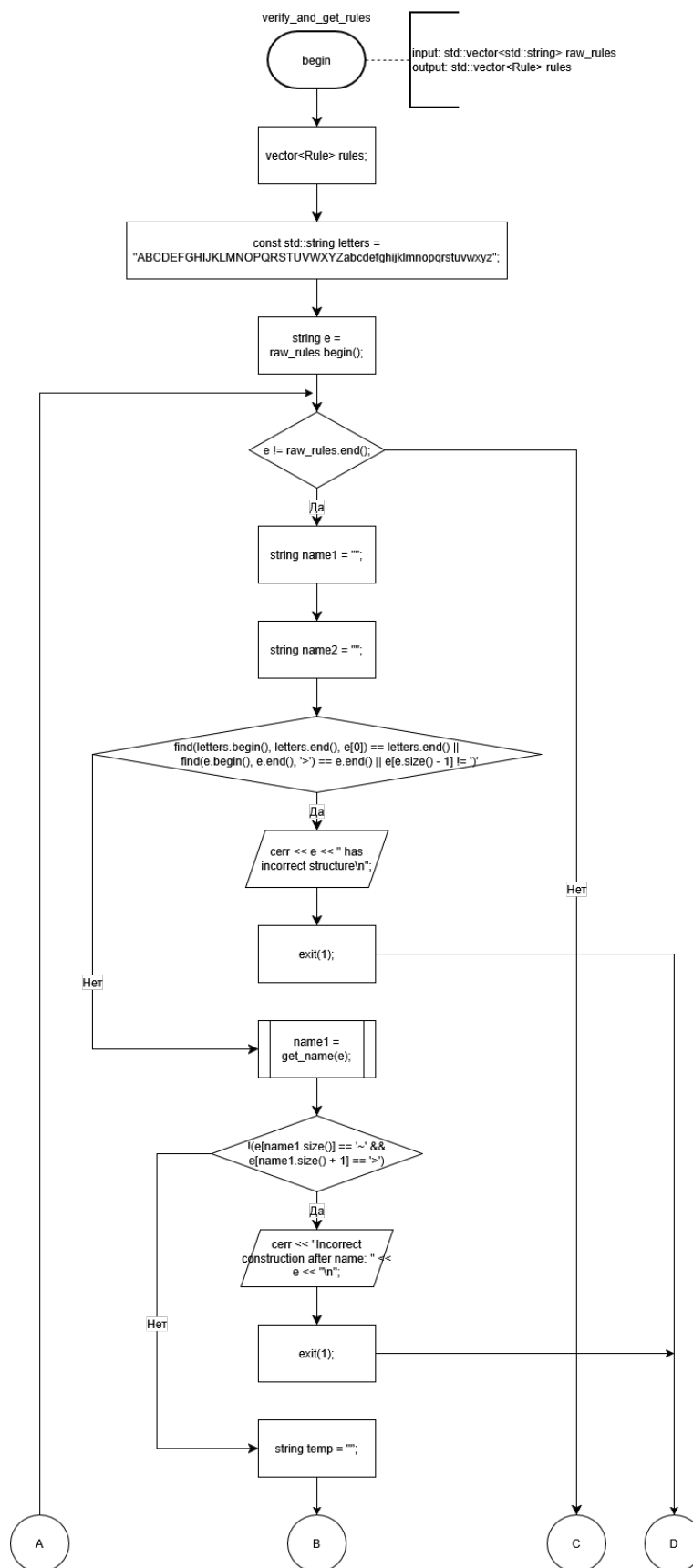


Рис. 1.1: Функция verify_and_get_rules

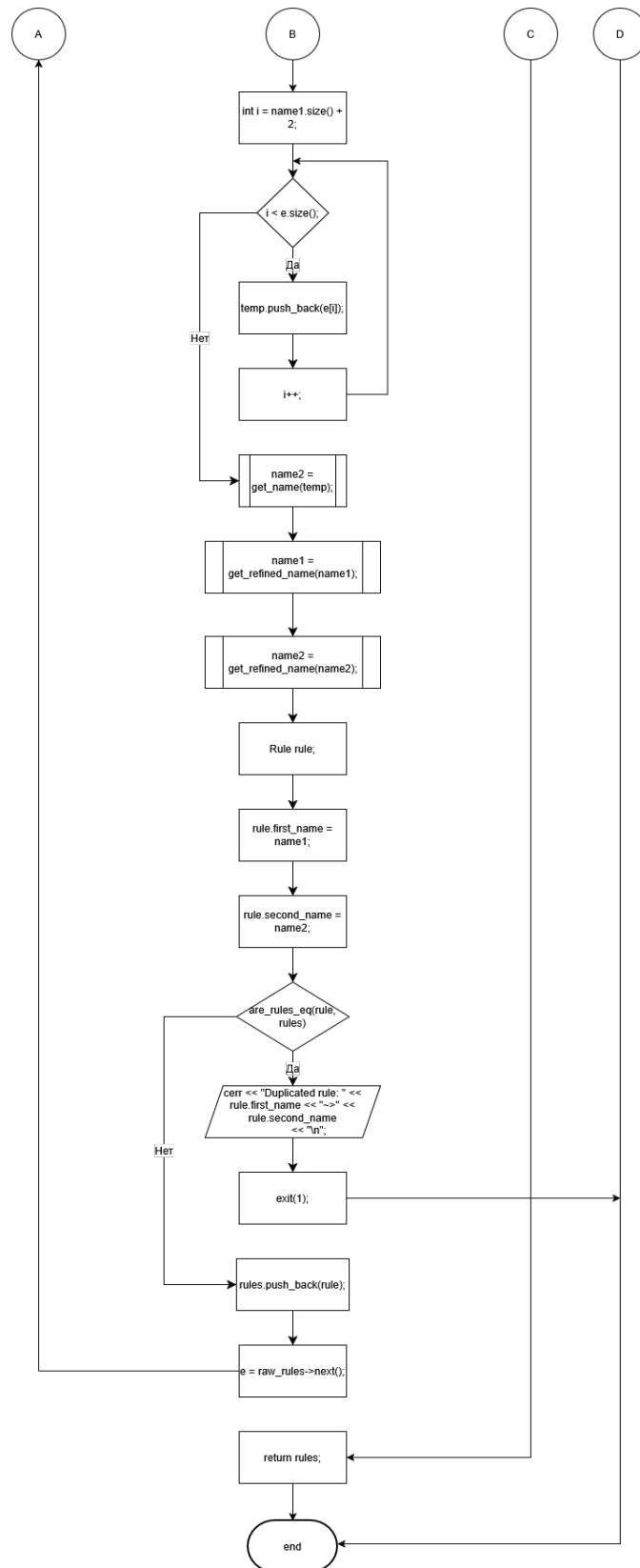


Рис. 1.2: Функция *verify_and_get_rules*

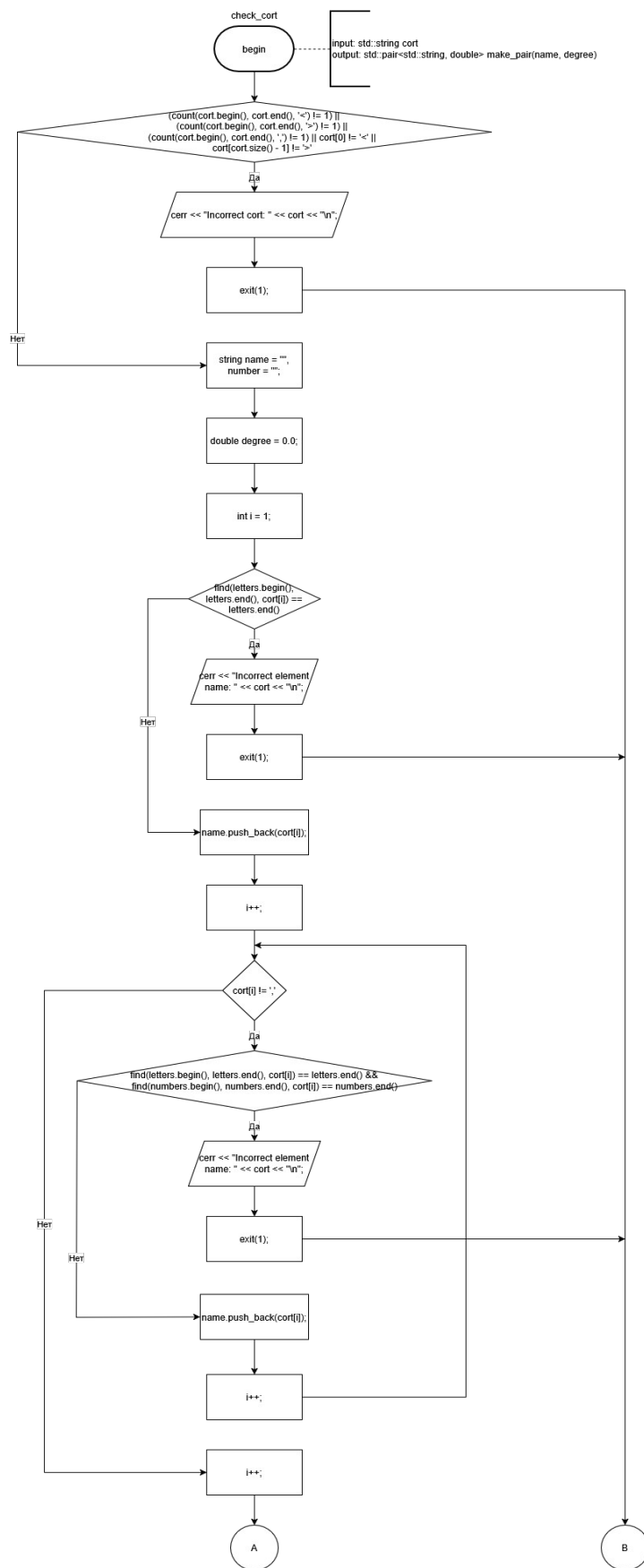


Рис. 2.1: Функция `check_cort`

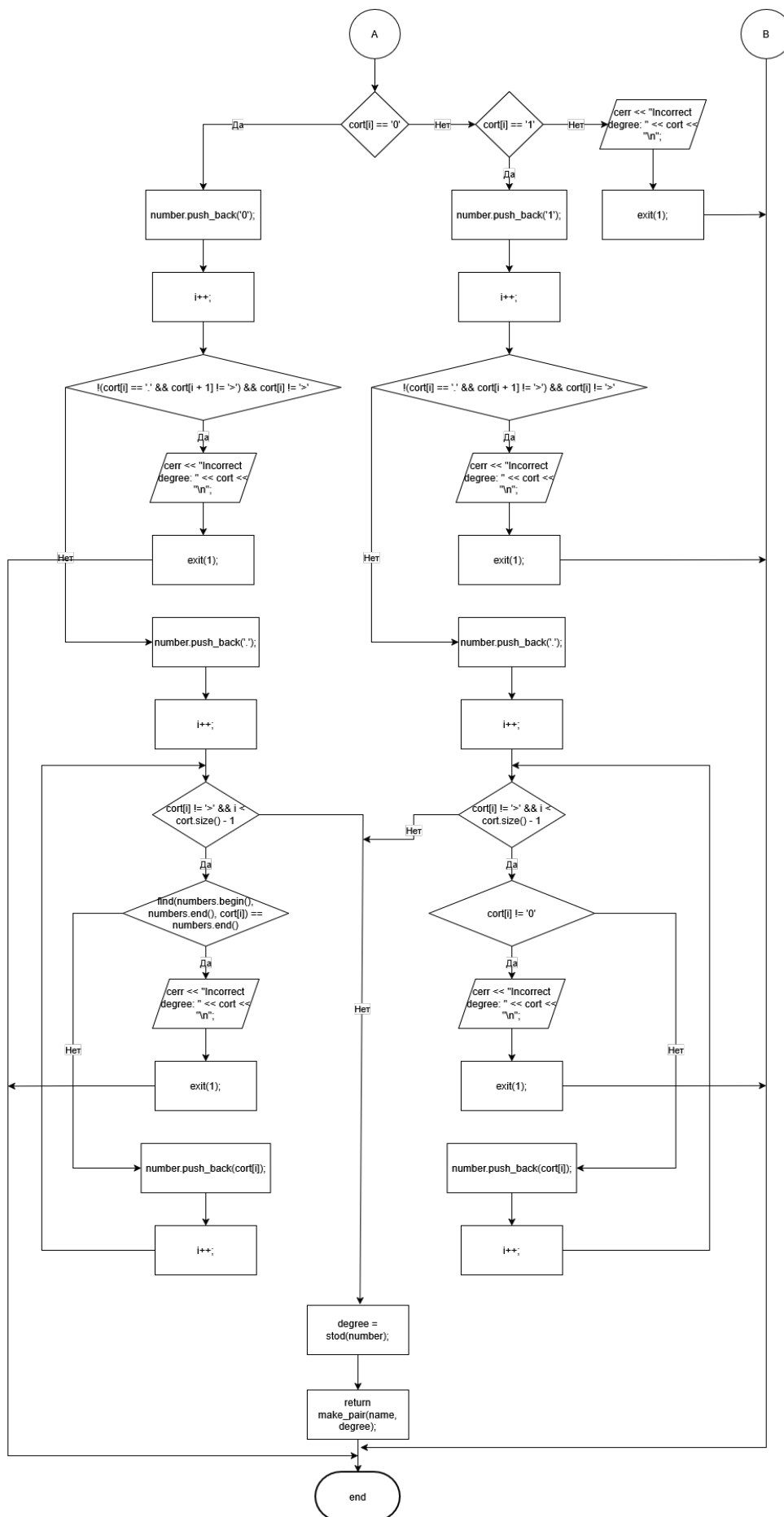


Рис. 2.2: Функция *check_cort*

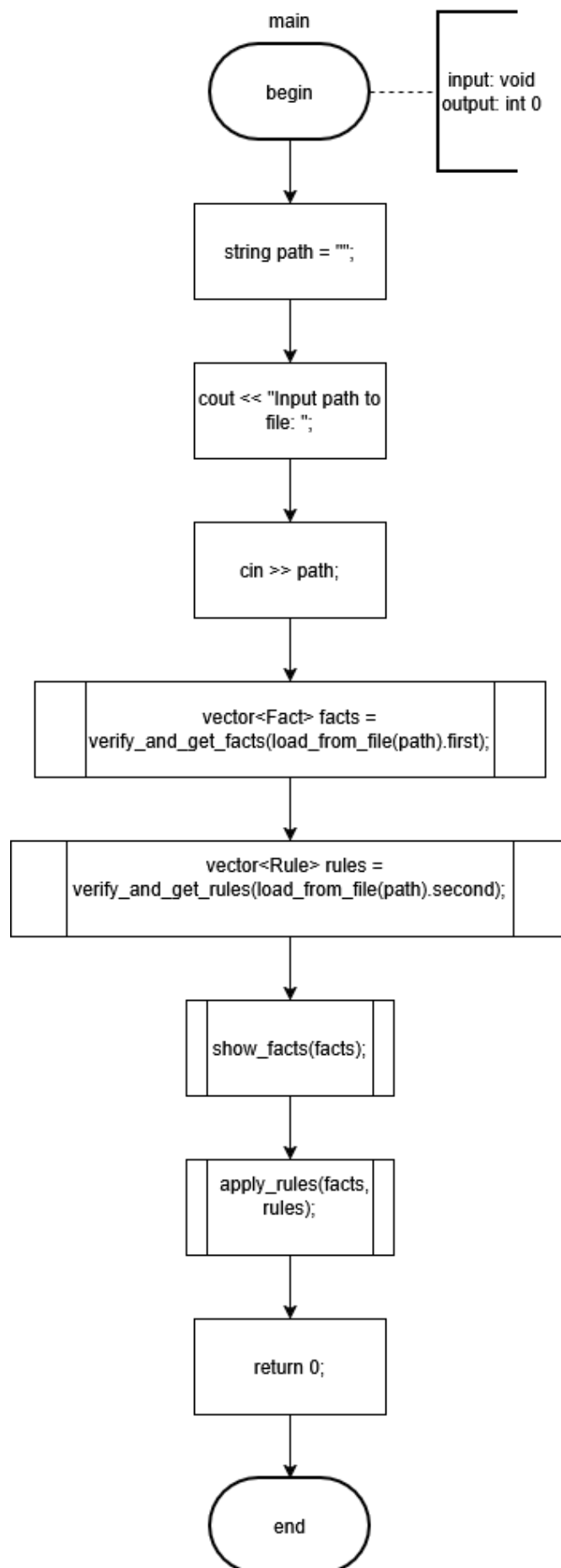


Рис. 3: Функция main

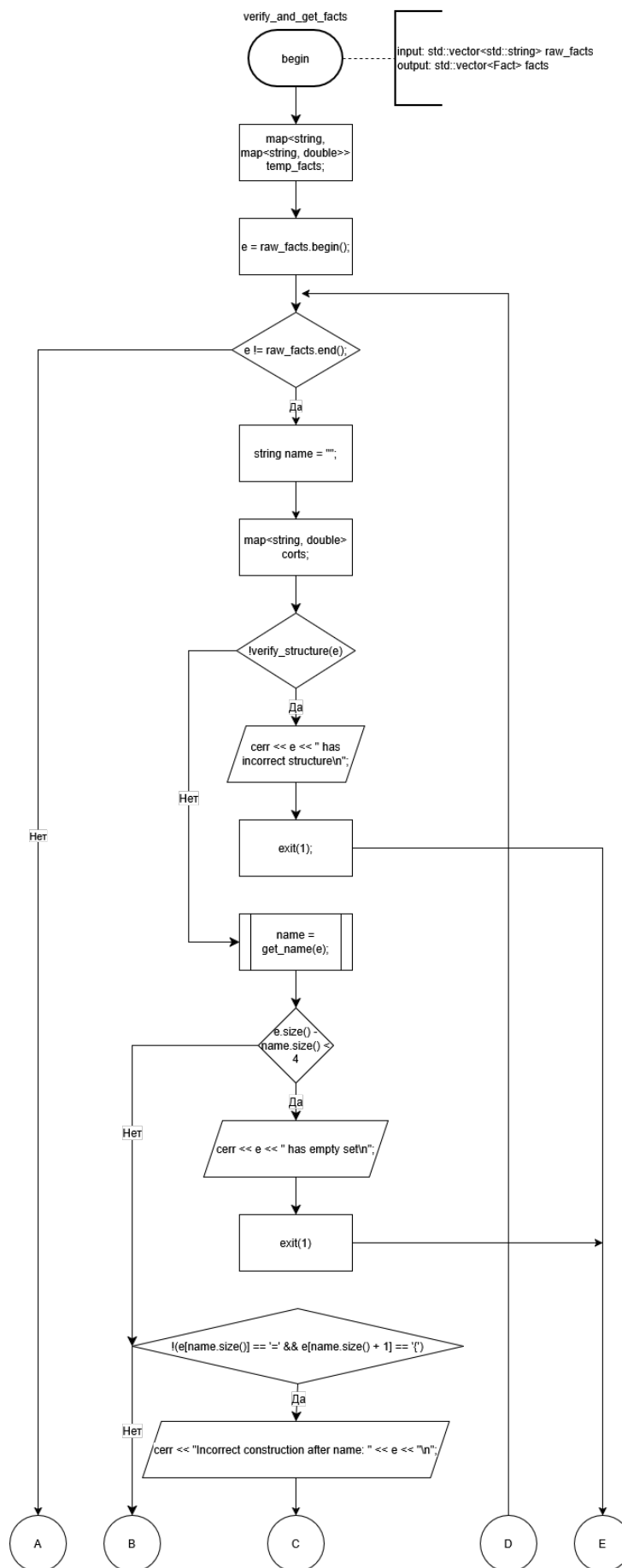


Рис. 4.1: Функция `verify_and_get_facts`

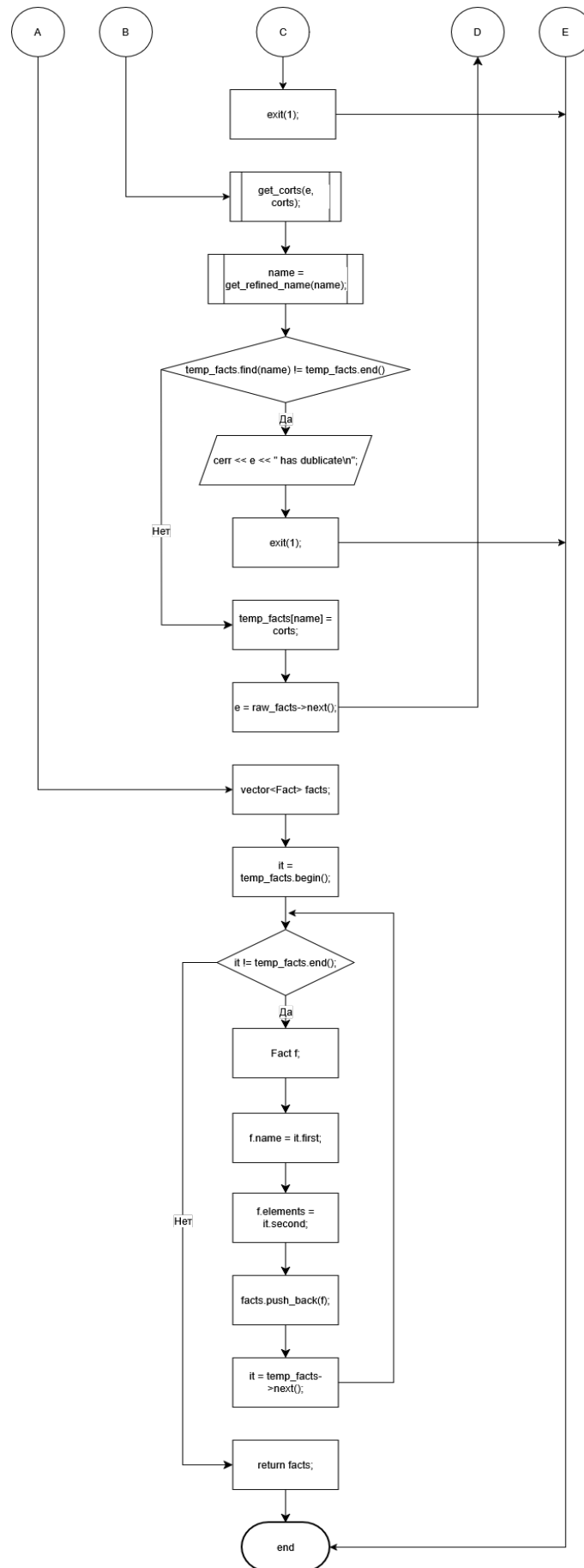


Рис. 4.2: Функция *verify_and_get_facts*

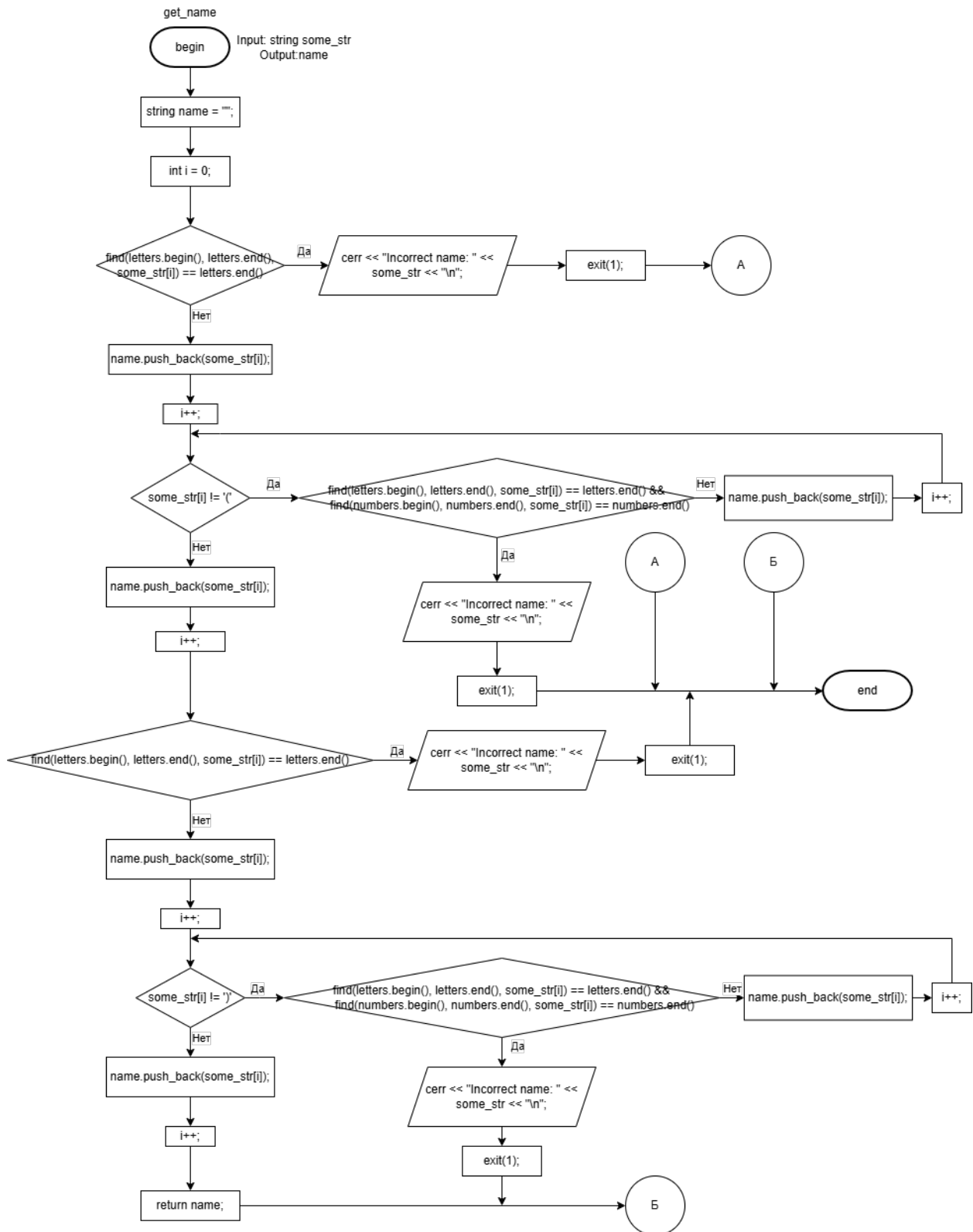


Рис. 5: Функция get_name

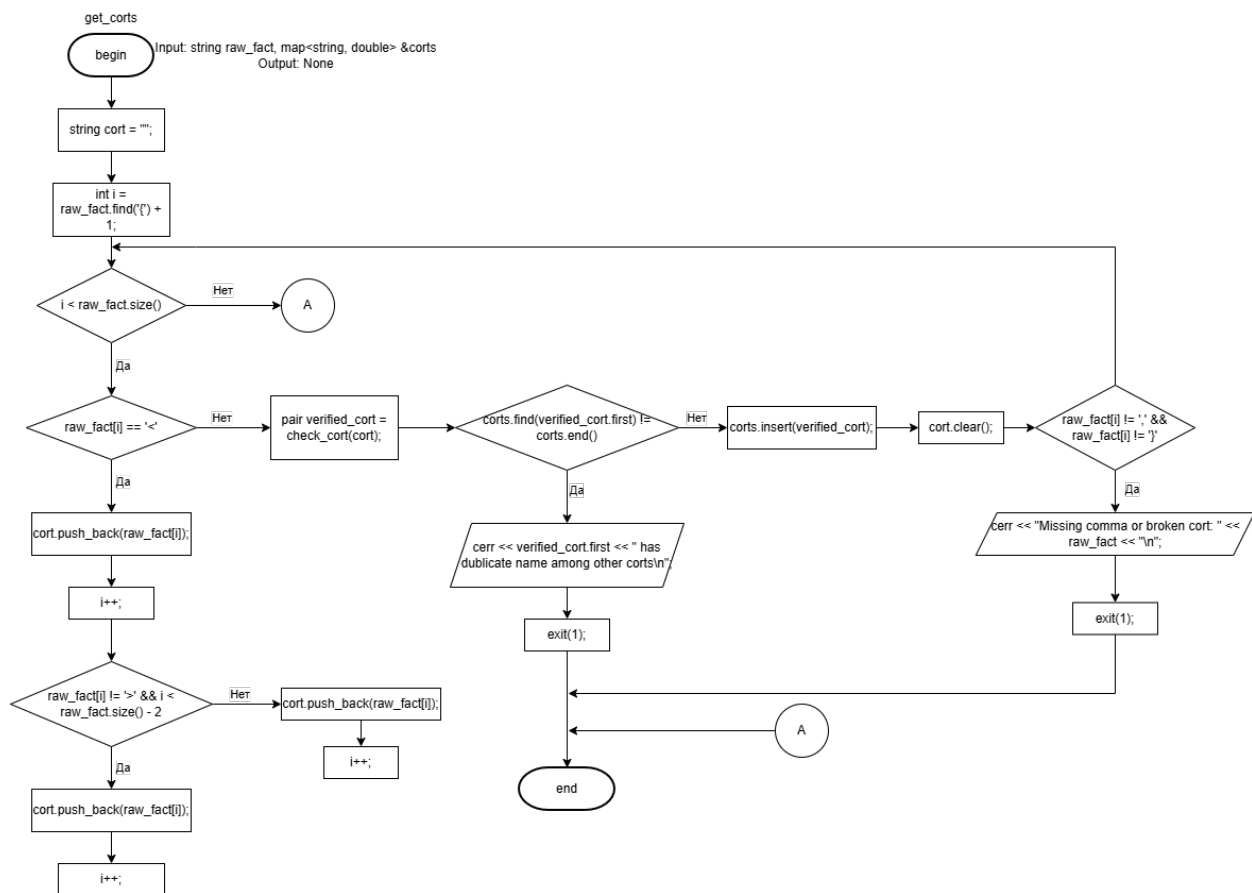


Рис. 6: Функция get_corts

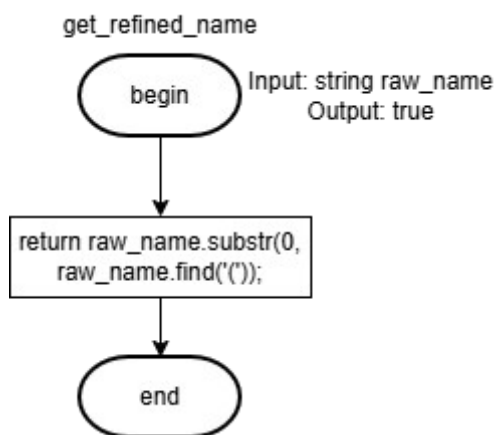


Рис. 7: Функция get_refined_name

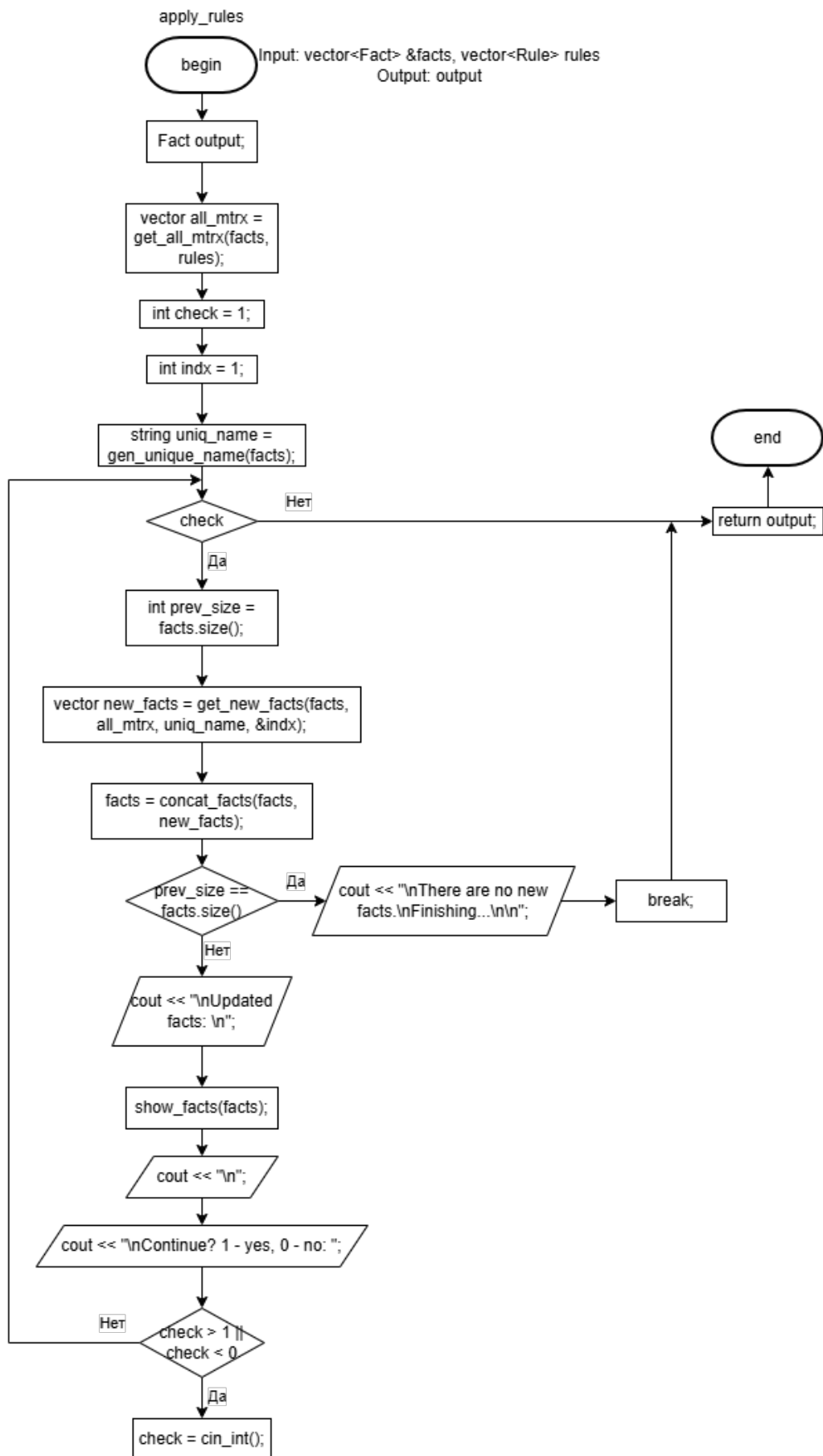


Рис. 8: Функция apply_rules

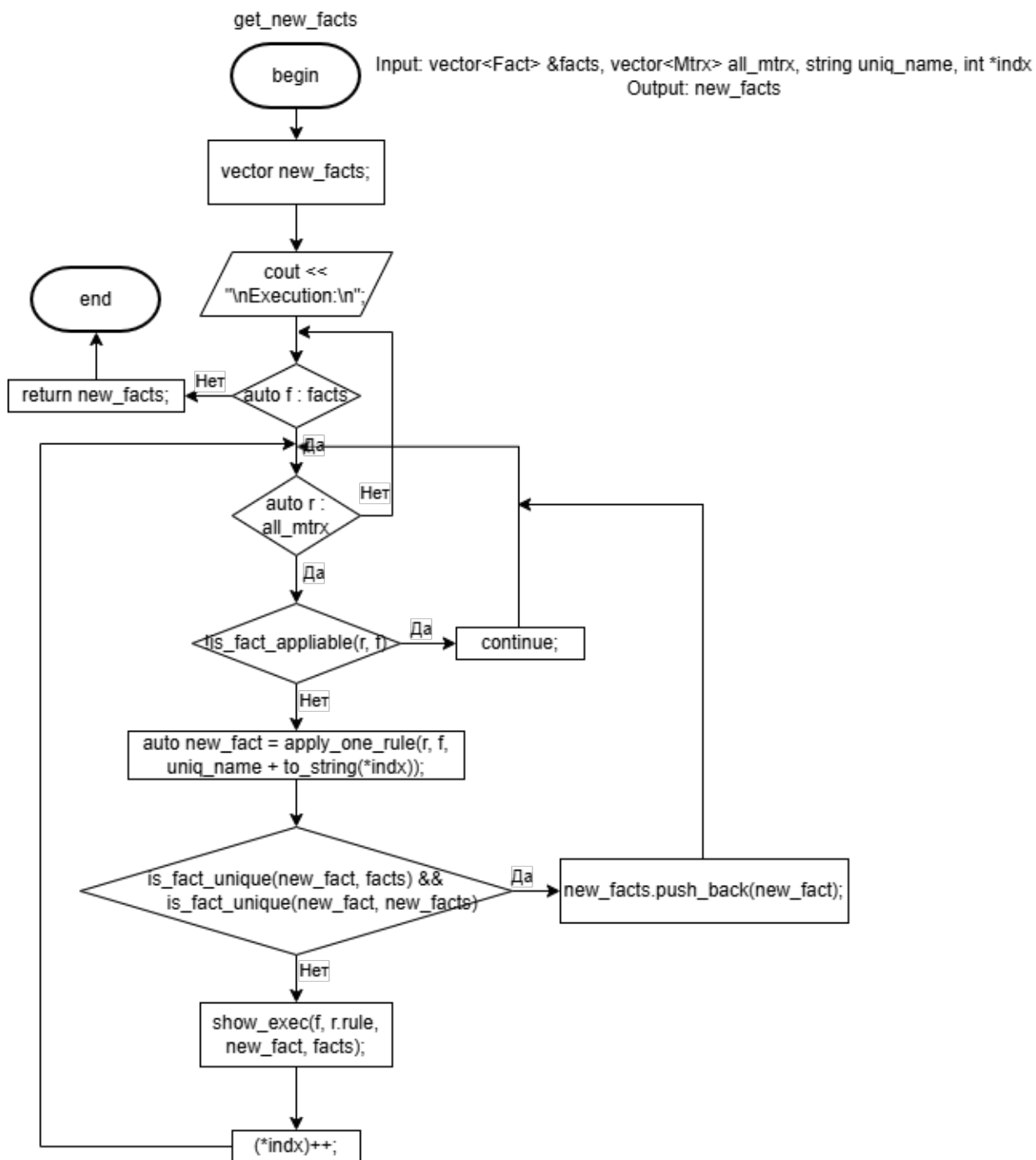


Рис. 9: Функция get_new_facts

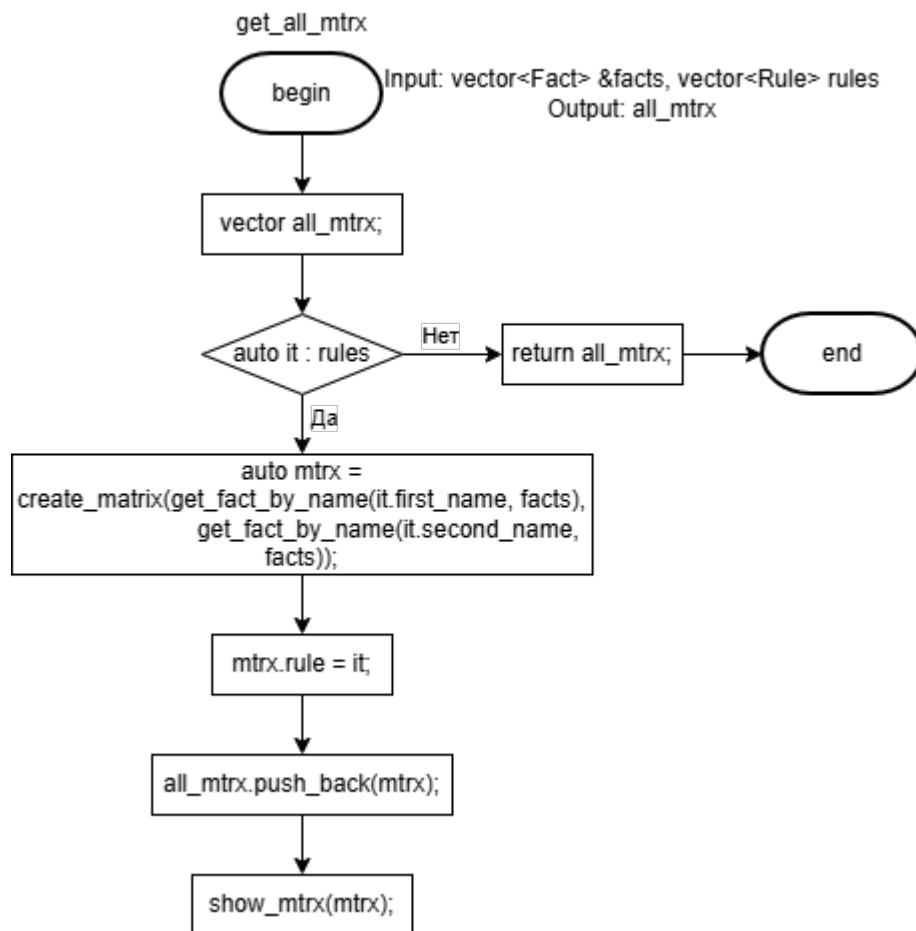


Рис. 10: Функция get_all_mtrx

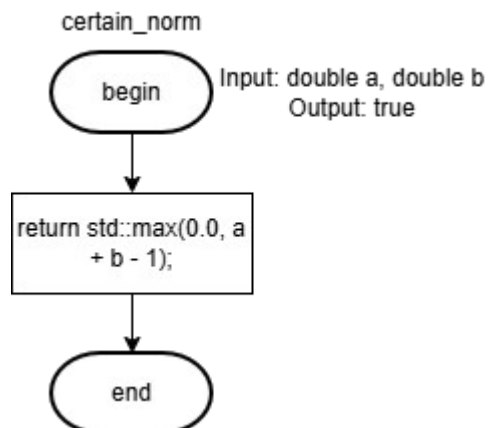


Рис. 11: Функция certain_norm

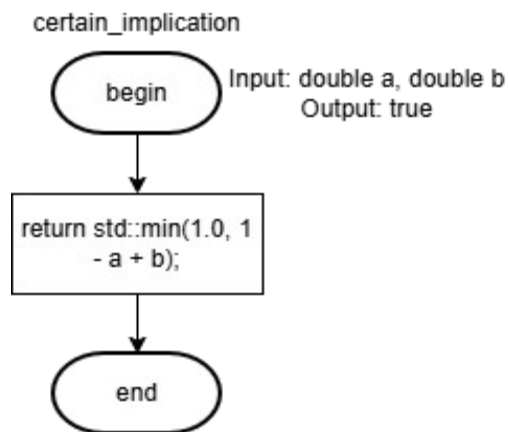


Рис. 12: Функция `certain_implication`

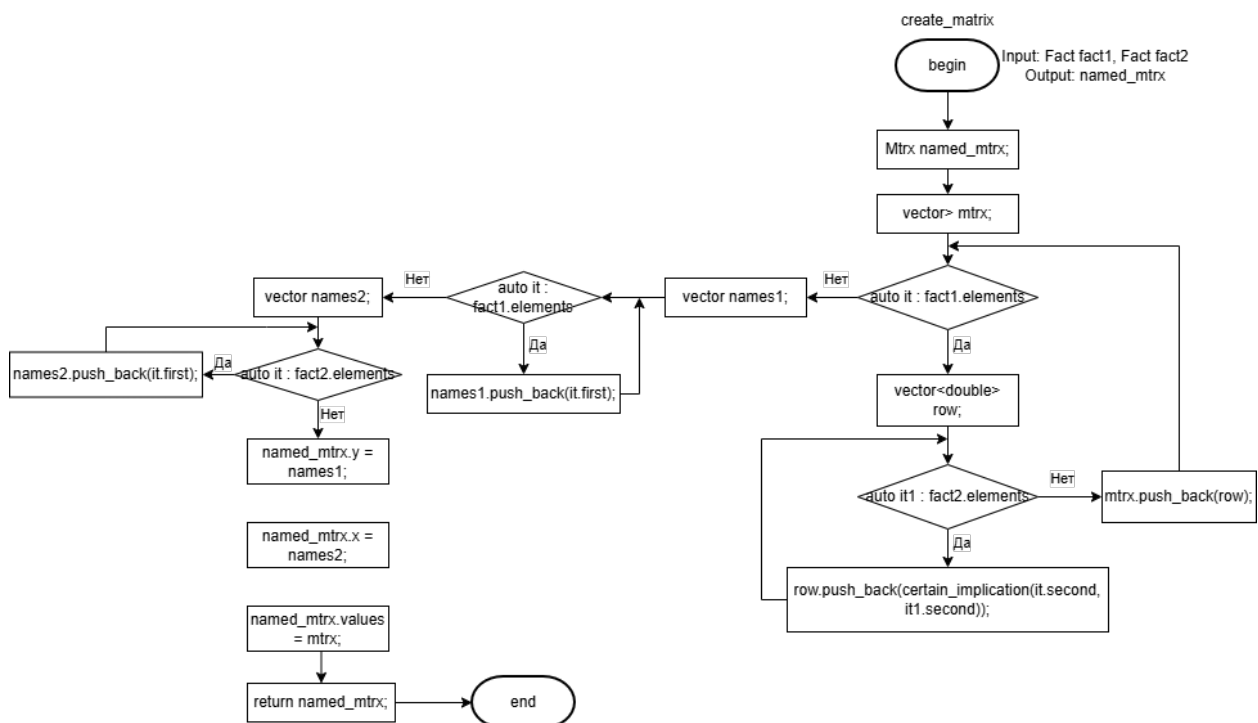


Рис. 13: Функция `create_matrix`

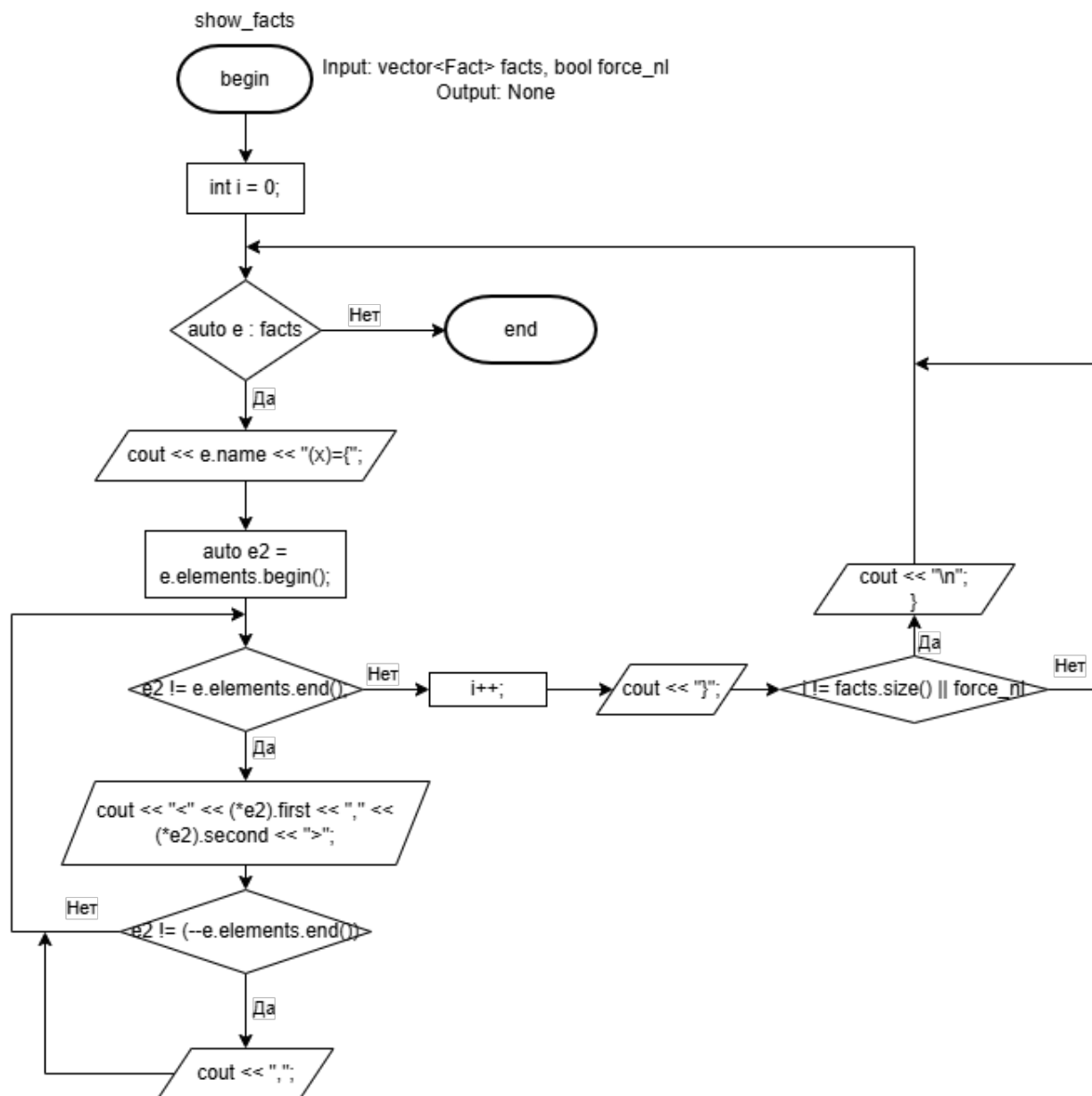


Рис. 14: Функция show_facts

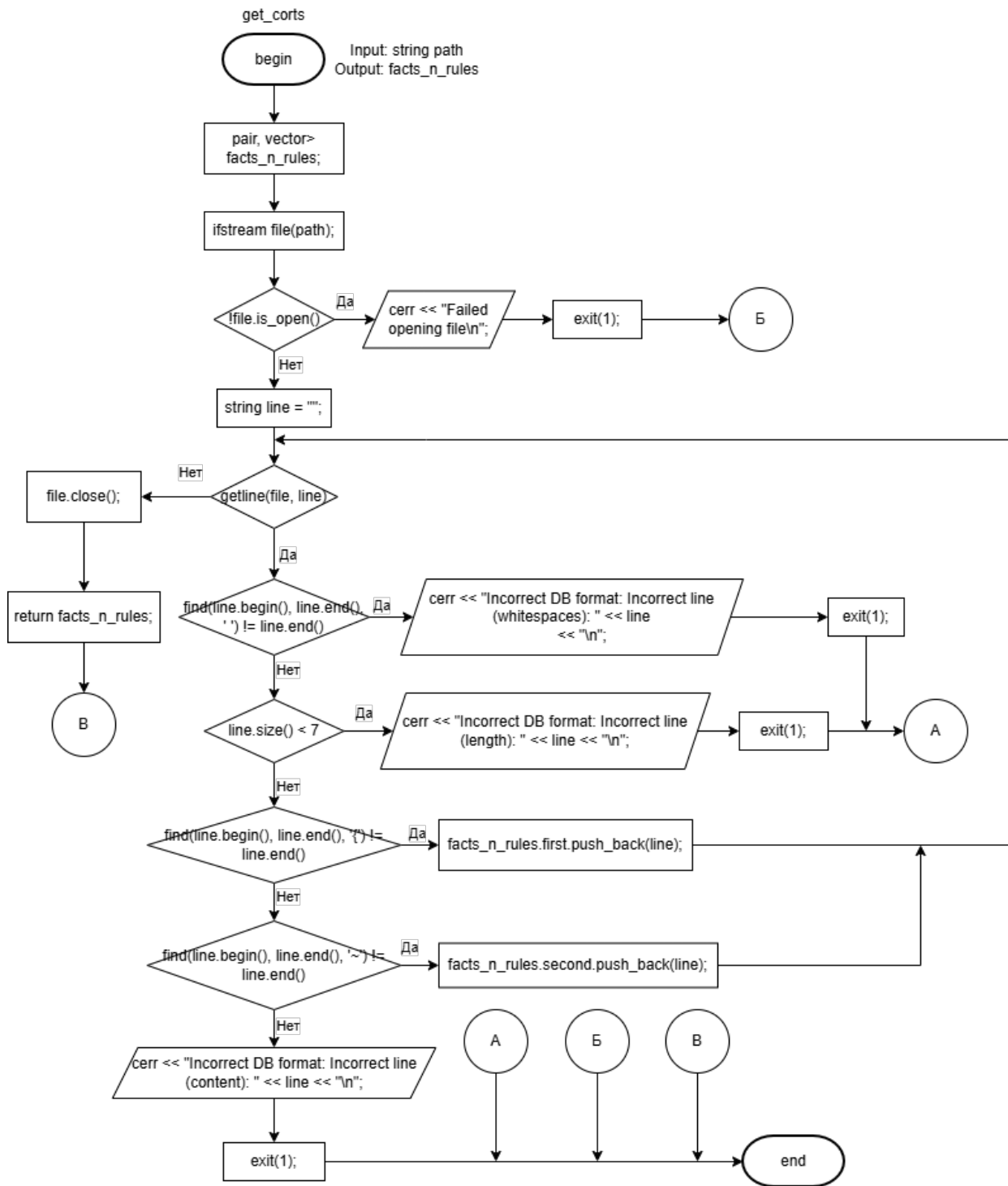


Рис. 15: Функция load_from_file

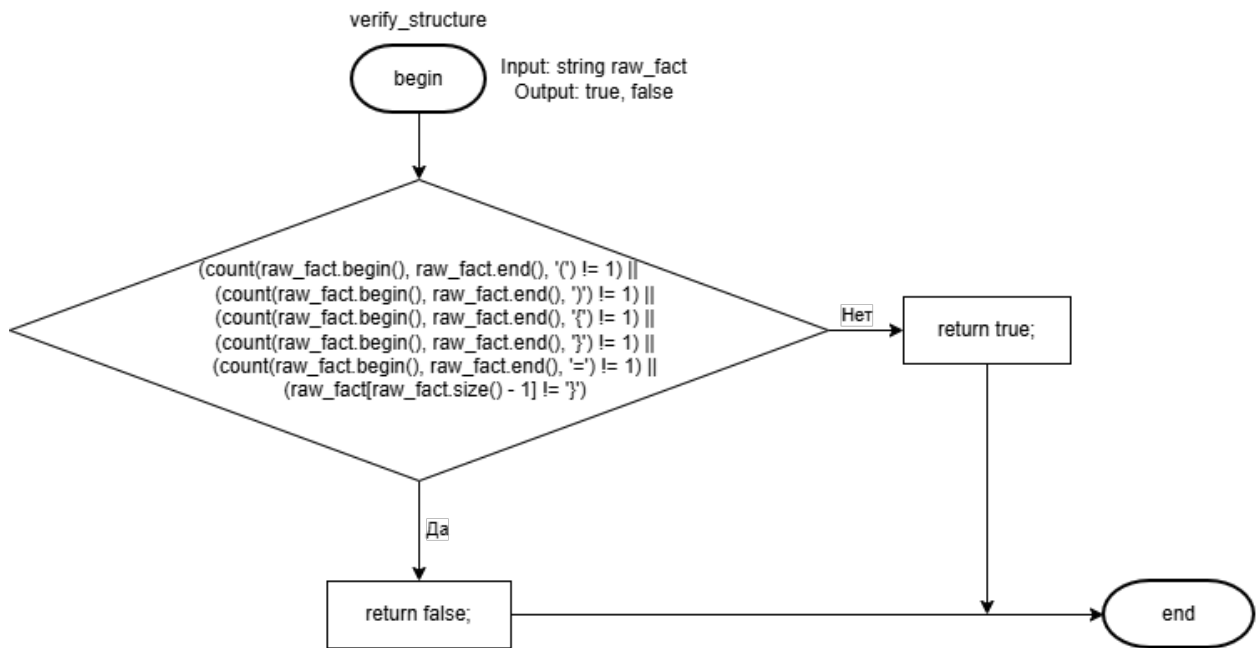


Рис. 16: Функция verify_structure

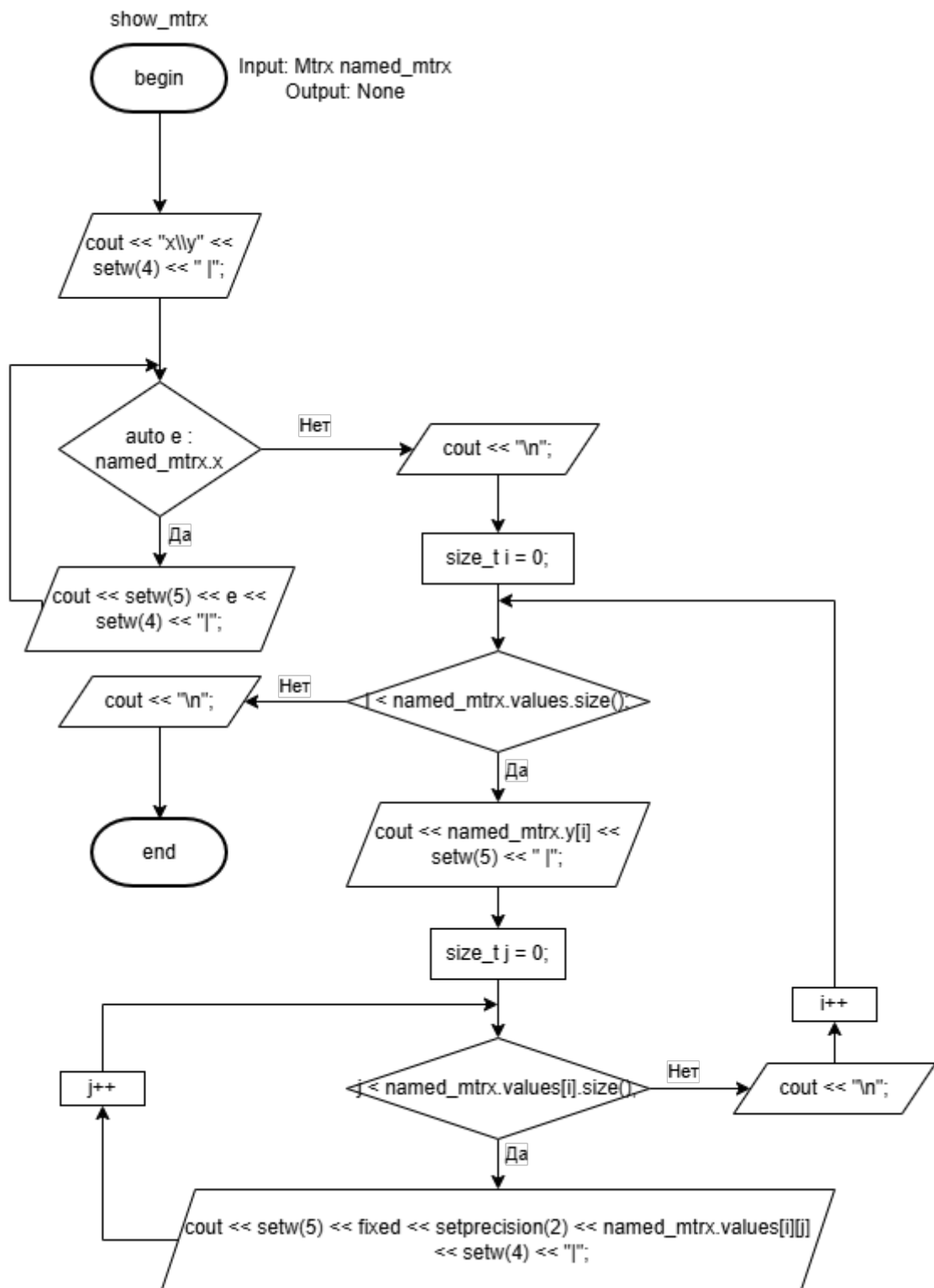


Рис. 17: Функция show_mtrx

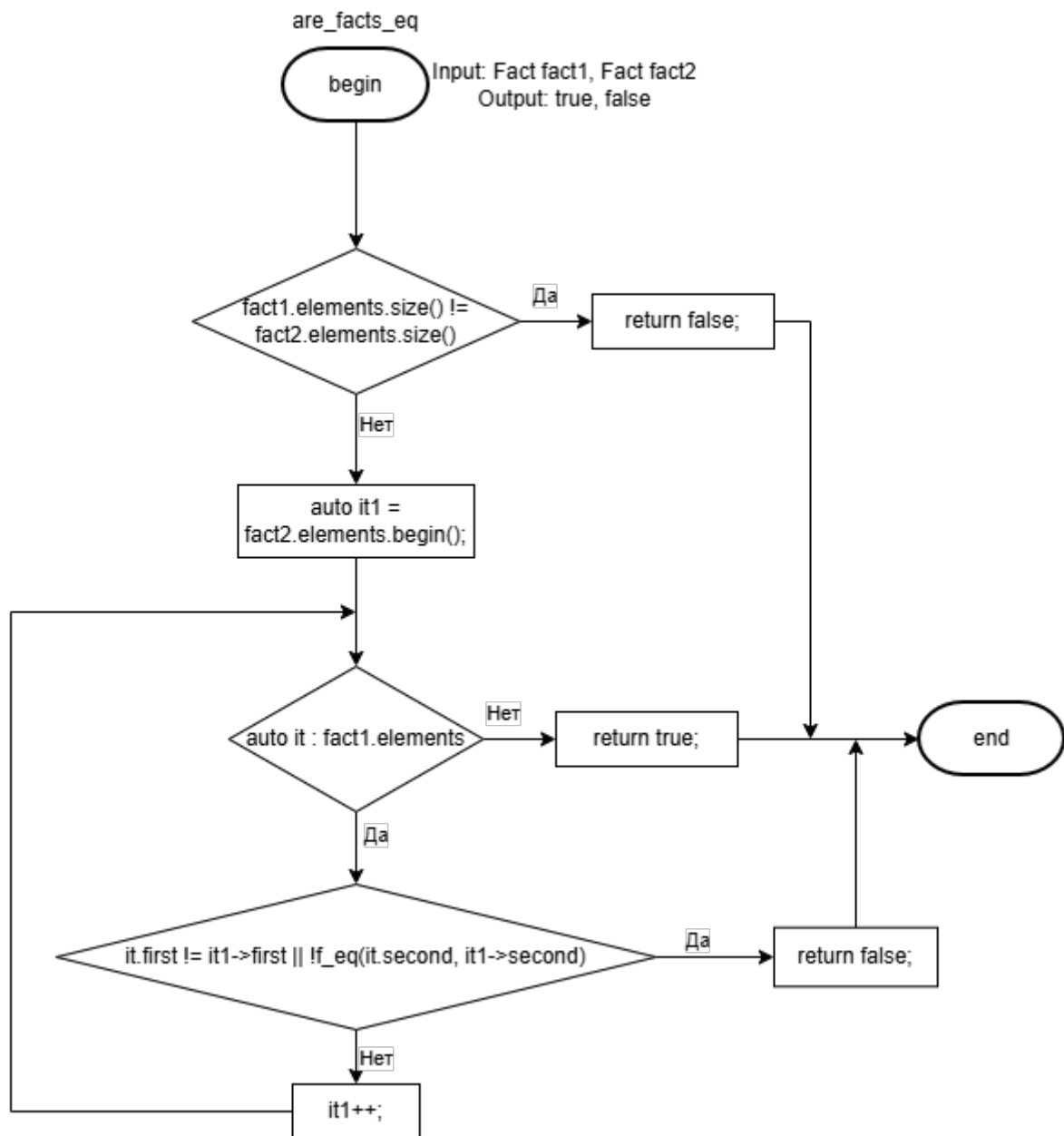


Рис. 18: Функция are_facts_eq

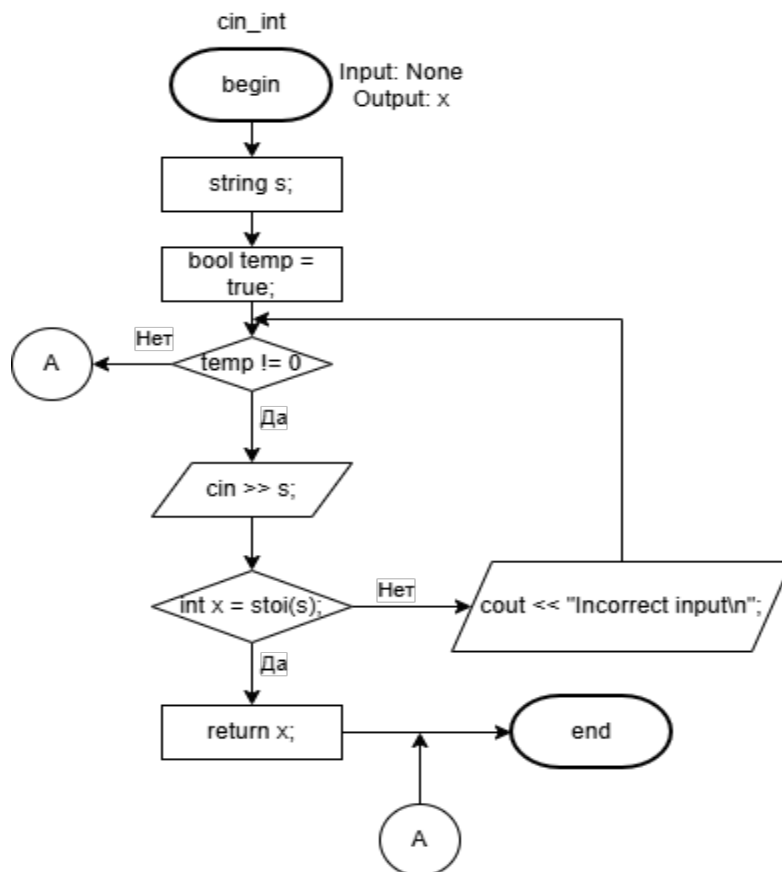


Рис. 19: Функция cin_int

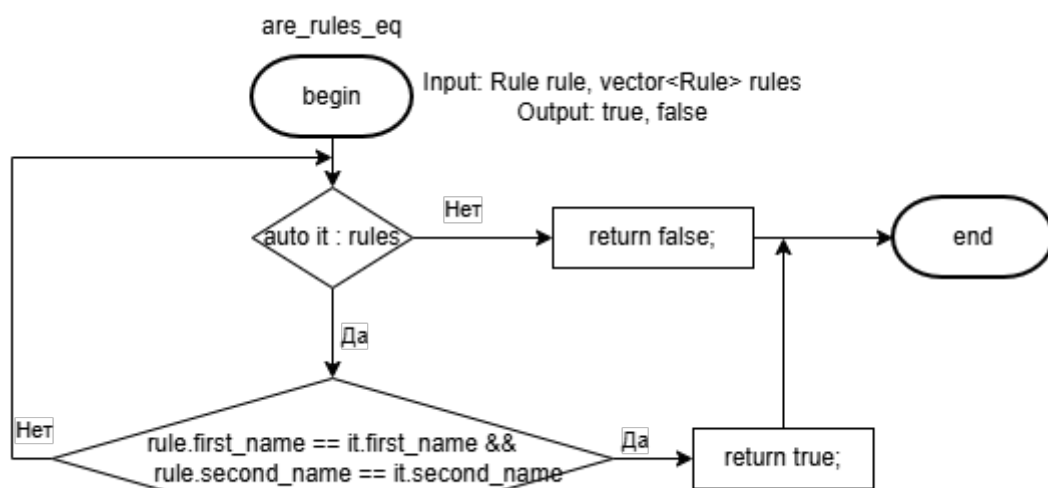


Рис. 20: Функция are_rules_eq

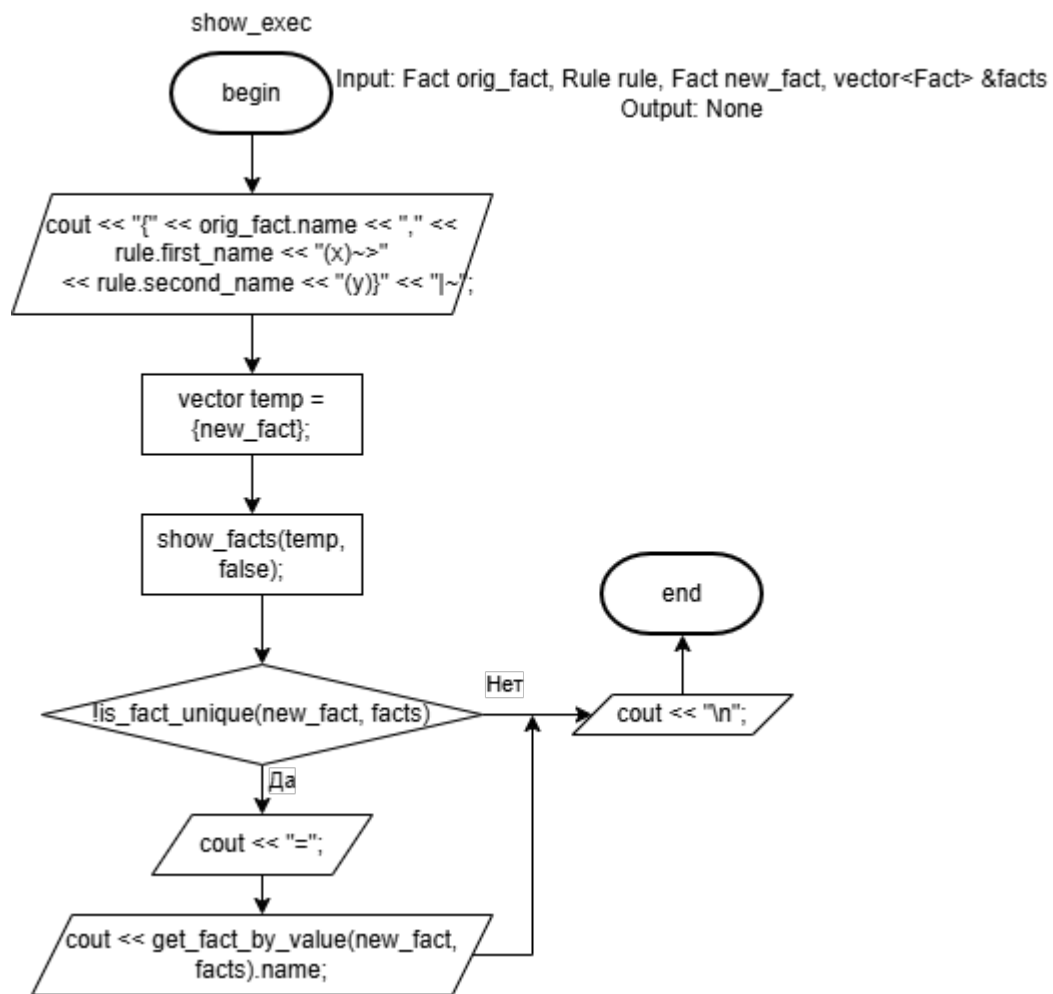


Рис. 21: Функция show_exec

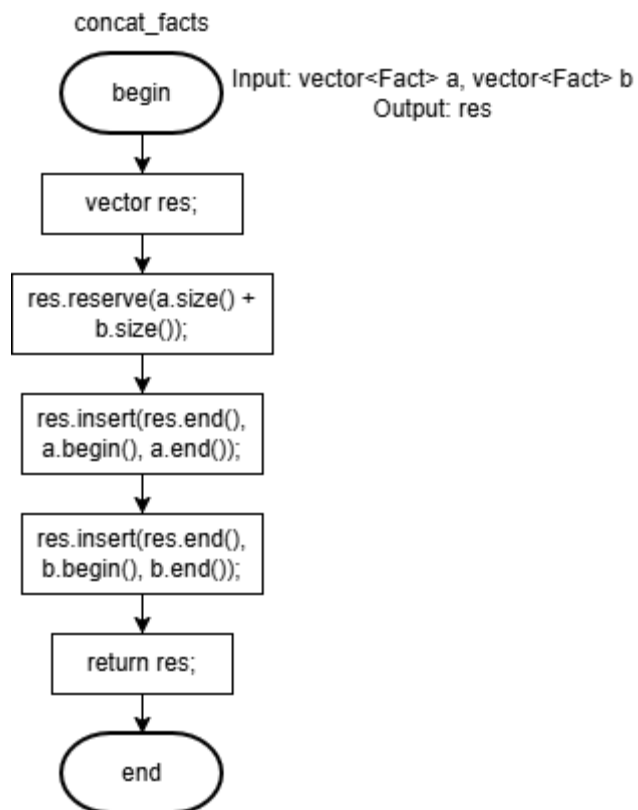


Рис. 22: Функция concat_facts

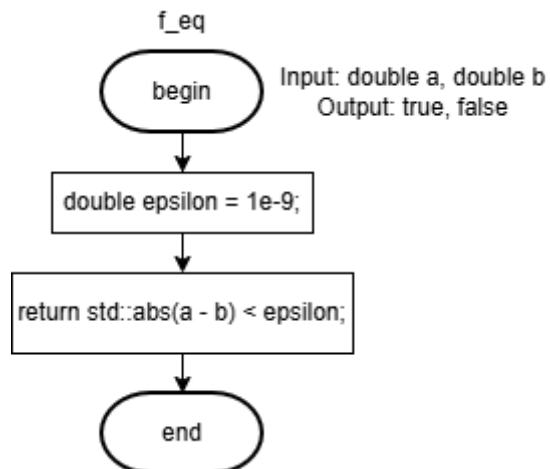


Рис. 23: Функция f_eq

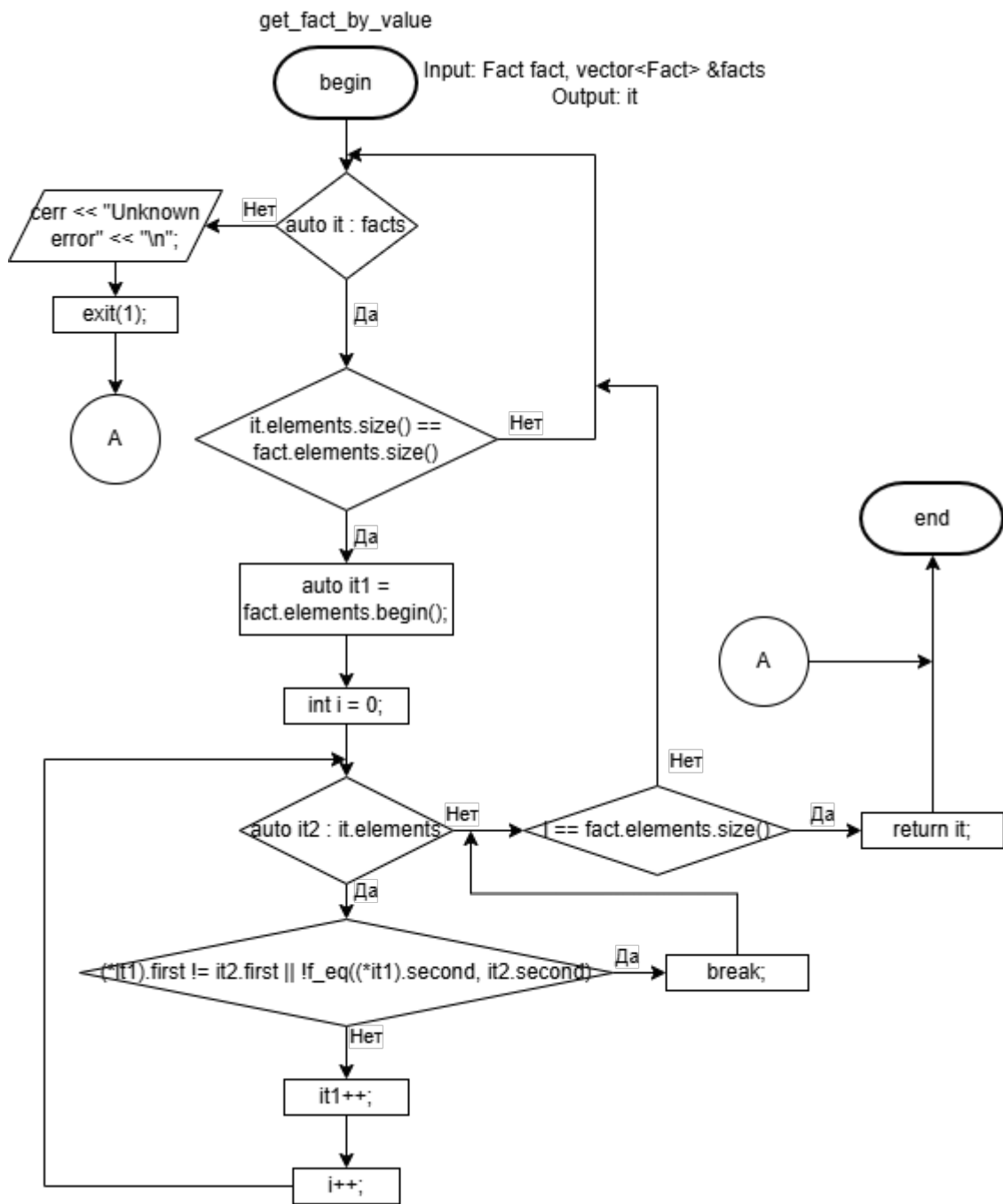


Рис. 24: Функция *get_fact_by_value*

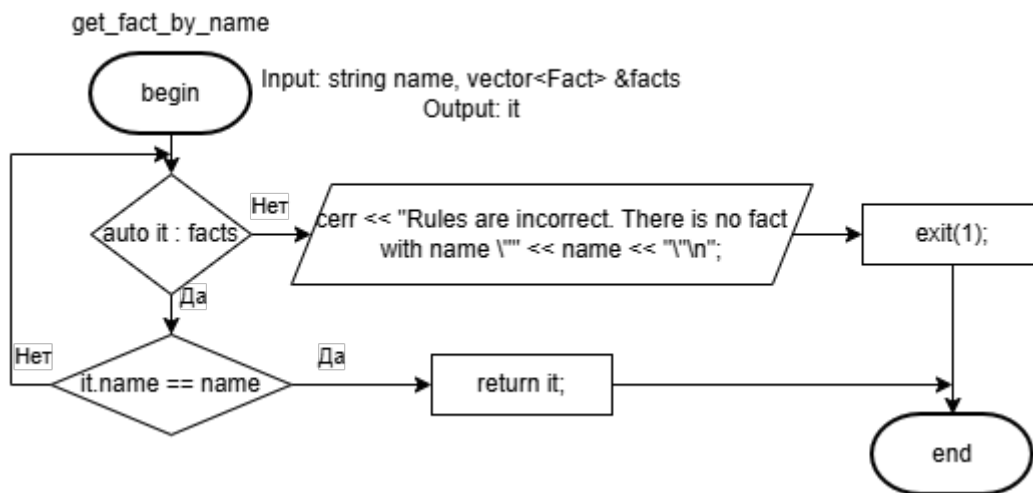


Рис. 25: Функция get_fact_by_name

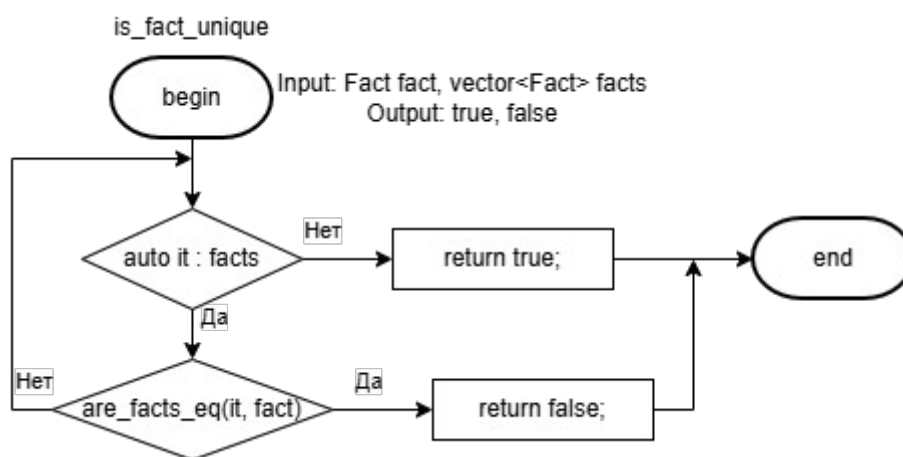


Рис. 26: Функция is_fact_unique

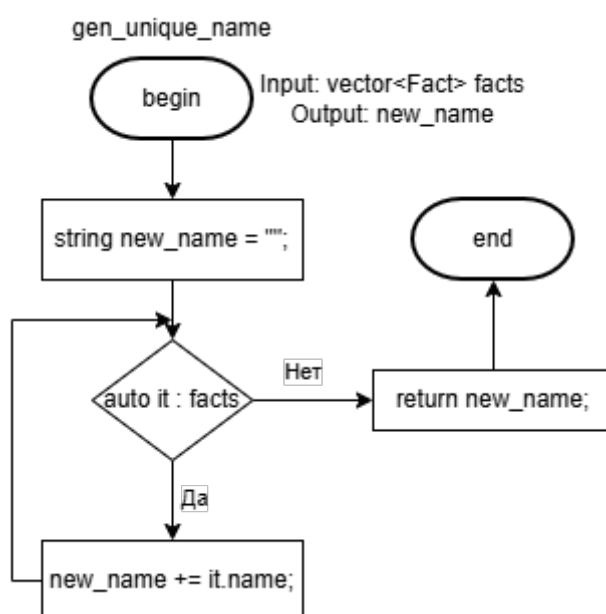


Рис. 27: Функция gen_unique_name

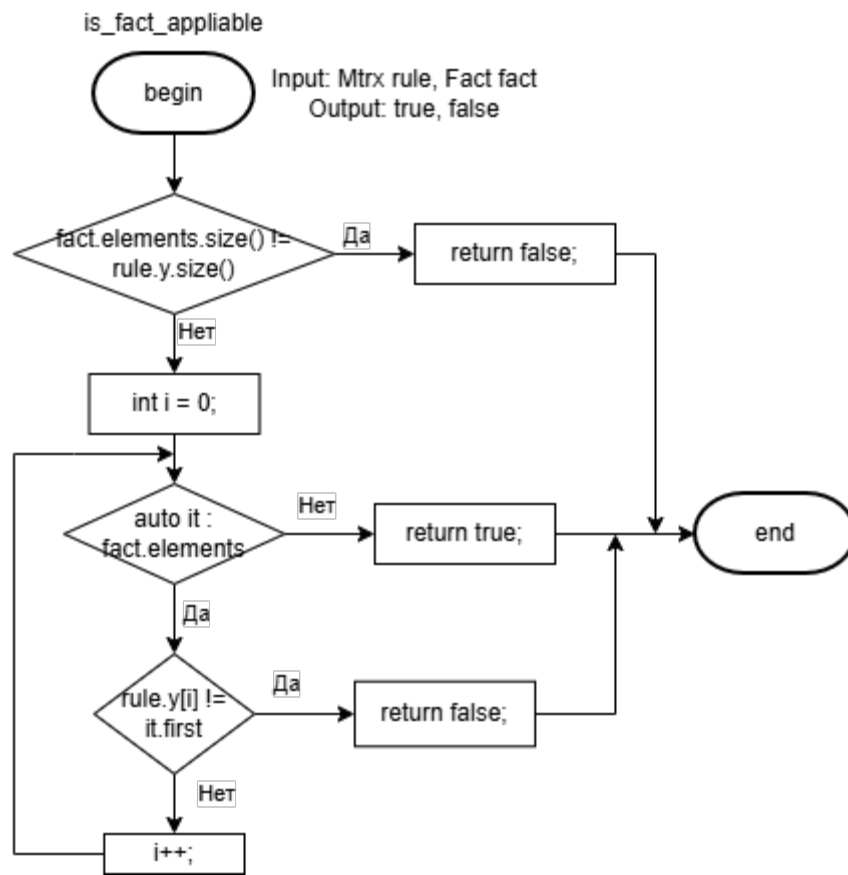


Рис. 28: Функция is_fact_appliable

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:

$A_l(x) = \{ \langle x_1, 0.21 \rangle, \langle x_2, 0.65 \rangle \}$

$A_n(x) = \{ \langle x_1, 1.00 \rangle, \langle x_2, 0.25 \rangle \}$

$A_s(x) = \{ \langle x_1, 0.34 \rangle, \langle x_2, 0.88 \rangle \}$

$B_l(x) = \{ \langle y_1, 0.19 \rangle, \langle y_2, 0.31 \rangle \}$

$B_n(x) = \{ \langle y_1, 0.12 \rangle, \langle y_2, 1.00 \rangle \}$

$B_s(x) = \{ \langle y_1, 0.44 \rangle, \langle y_2, 0.56 \rangle \}$

$A_l A_n A_s B_l B_n B_s 1(x) = \{ \langle y_1, 0.21 \rangle, \langle y_2, 0.33 \rangle \}$

$A_l A_n A_s B_l B_n B_s 2(x) = \{ \langle y_1, 0.00 \rangle, \langle y_2, 0.65 \rangle \}$

$A_l A_n A_s B_l B_n B_s 3(x) = \{ \langle y_1, 0.06 \rangle, \langle y_2, 0.18 \rangle \}$

$A_l A_n A_s B_l B_n B_s 4(x) = \{ \langle y_1, 0.65 \rangle, \langle y_2, 0.65 \rangle \}$

$A_l A_n A_s B_l B_n B_s 5(x) = \{ \langle y_1, 0.52 \rangle, \langle y_2, 0.65 \rangle \}$

$A_l A_n A_s B_l B_n B_s 6(x) = \{ \langle y_1, 0.59 \rangle, \langle y_2, 0.65 \rangle \}$

$A_l A_n A_s B_l B_n B_s 8(x) = \{ \langle y_1, 0.12 \rangle, \langle y_2, 0.65 \rangle \}$

$A_l A_n A_s B_l B_n B_s 10(x) = \{ \langle y_1, 1.00 \rangle, \langle y_2, 1.00 \rangle \}$

$A_l A_n A_s B_l B_n B_s 11(x) = \{ \langle y_1, 0.78 \rangle, \langle y_2, 1.00 \rangle \}$

$A_l A_n A_s B_l B_n B_s 12(x) = \{ \langle y_1, 0.85 \rangle, \langle y_2, 0.97 \rangle \}$

$A_l A_n A_s B_l B_n B_s 17(x) = \{ \langle y_1, 0.91 \rangle, \langle y_2, 1.00 \rangle \}$

$A_l A_n A_s B_l B_n B_s 18(x) = \{ \langle y_1, 0.98 \rangle, \langle y_2, 1.00 \rangle \}$

$A_l A_n A_s B_l B_n B_s 20(x) = \{ \langle y_1, 0.12 \rangle, \langle y_2, 0.88 \rangle \}$

$A_l A_n A_s B_l B_n B_s 22(x) = \{ \langle y_1, 0.88 \rangle, \langle y_2, 0.88 \rangle \}$

$A_l A_n A_s B_l B_n B_s 23(x) = \{ \langle y_1, 0.75 \rangle, \langle y_2, 0.88 \rangle \}$

$A_l A_n A_s B_l B_n B_s 24(x) = \{ \langle y_1, 0.82 \rangle, \langle y_2, 0.88 \rangle \}$

$A_l A_n A_s B_l B_n B_s 25(x) = \{ \langle y_1, 0.67 \rangle, \langle y_2, 0.79 \rangle \}$

$A_l A_n A_s B_l B_n B_s 26(x) = \{ \langle y_1, 0.35 \rangle, \langle y_2, 0.88 \rangle \}$

$A_l A_n A_s B_l B_n B_s 27(x) = \{ \langle y_1, 0.42 \rangle, \langle y_2, 0.54 \rangle \}$

Continue? 1 - yes, 0 - no: 0

Рис. 36.2: Вывод для БД4

Ответы на вопросы:

$$\begin{aligned}A_s(x) &= \{ \langle x_1, 0.34 \rangle, \langle x_2, 0.88 \rangle \} \\ A_n(x) &= \{ \langle x_1, 1 \rangle, \langle x_2, 0.25 \rangle \} \\ A_l(x) &= \{ \langle x_1, 0.21 \rangle, \langle x_2, 0.65 \rangle \} \\ B_s(x) &= \{ \langle y_1, 0.44 \rangle, \langle y_2, 0.56 \rangle \} \\ B_n(x) &= \{ \langle y_1, 0.12 \rangle, \langle y_2, 1 \rangle \} \\ B_l(x) &= \{ \langle y_1, 0.19 \rangle, \langle y_2, 0.31 \rangle \}\end{aligned}$$

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 $B(y)$ максимально.

$$\{A_l, A_n(x) \rightarrow B_n(y)\} \mid \sim A_l A_n A_s B_l B_n B_s 5(x) = \{ \langle y_1, 0.52 \rangle, \langle y_2, 0.65 \rangle \}$$

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 .

$$\{A_n, A_s(x) \rightarrow B_s(y)\} \mid \sim A_l A_n A_s B_l B_n B_s 10(x) = \{ \langle y_1, 1.00 \rangle, \langle y_2, 1.00 \rangle \}$$

Рис. 39

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

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

$$\{A_n, A_n(x) \rightarrow B_n(y)\} \mid \sim A_l A_n A_s B_l B_n B_s 14(x) = \{ \langle y_1, 0.12 \rangle, \langle y_2, 1.00 \rangle \} = B_n$$

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 $A'(x) = A(x)$.

$$\{A_s, A_s(x) \rightarrow B_s(y)\} \mid \sim A_l A_n A_s B_l B_n B_s 19(x) = \{ \langle y_1, 0.44 \rangle, \langle y_2, 0.56 \rangle \} = B_s$$

Рис. 41

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

Ответ: Да, если $A'(x) = A(x)$.

$$\{A_n, A_n(x) \rightarrow B_s(y)\} \mid \sim A_l A_n A_s B_l B_n B_s 13(x) = \{ \langle y_1, 0.44 \rangle, \langle y_2, 0.56 \rangle \} = B_s$$

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	\sim \wedge	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. Ивашенко, 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.