

Факультет прикладной математики информатики и механики
Направление 01.03.02 Прикладная математика и информатика
Кафедра математических методов исследования операций
Системный анализ, исследование операций и управление

**Разработка и программная реализация алгоритма
оценки эффективности инвестиционного проекта на
основе применения аппарата интервальных нечетких
чисел второго типа**

Научный руководитель д.т.н., проф. Т.В. Азарнова
Выполнила студентка 4к, 7гр Т.В. Труфанова

Воронеж 2021

Цель исследования

Разработка и программная реализация алгоритма оценки эффективности инвестиционного проекта, базирующегося на специальных методах обработки экспертной информации и построении нечетких интервальных чисел второго типа, оценивающих основные параметры проекта.

Задачи исследования

- Изучение принципов, моделей и методов оценки эффективности оценки инвестиционных проектов;
- Анализ возможностей использования аппарата нечетких интервальных чисел второго порядка для оценки эффективности инвестиционных проектов;
- Изучение теории нечетких множеств второго типа и условия эффективности их применения в решении экономических задач;
- Разработка алгоритма представления параметров проекта в виде интервальных нечетких чисел второго типа, базирующихся на специальной процедуре обработки экспертных оценок параметров проекта, представленных в виде обычных нечетких чисел;
- Построение алгоритма нахождения NPV проекта, базирующегося на применении арифметических операций над нечеткими интервальными числами второго типа;
- Разработка программной реализации предложенных в работе алгоритмов;
- Проведение тестирования разработанного программного обеспечения.

Инвестиционный проект

Инвестиционный проект (ИП) – это продуманный план действий, связанный с вложением финансовых и иных материальных средств в определенную деятельность с целью получить от этого прибыль.

Основной показатель эффективности проекта – чистый дисконтированный денежный доход:

$$NPV = -\frac{I_0}{(1+r)} + \sum_{t=1}^T C_t \frac{1}{(1+r)^t}, \quad (1)$$

где I_0 – величина первоначальных взносов, C_t – доходы в период времени t , t – шаг расчета (год, квартал, месяц и т.д.), $\frac{1}{(1+r)^t}$ – фактор дисконтирования, r – ставка дисконтирования.

Нечеткие множества второго типа

Треугольное нечеткое число второго типа, имеющее равные меры принадлежности, представлено как (2):

$$\tilde{A} = [\tilde{A}^U, \tilde{A}^L] = (a_l^U, a_m^U, a_r^U), (a_l^L, a_m^L, a_r^L), \quad (2)$$

где \tilde{A}^U, \tilde{A}^L – нечеткие множества первого типа, a_l^U, a_m^U, a_r^U и a_l^L, a_m^L, a_r^L – опорные значения интервального нечеткого множества.

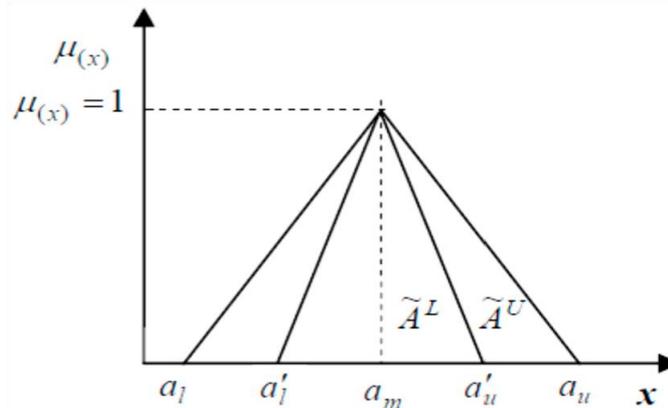


Рис.1 Нормализованное треугольное нечеткое число на основе интервальных значений с одной модой

Среднее значение для интервальных нечетких чисел

Вероятностное среднее значение нечеткого числа второго типа является арифметическим средним значением его верхних и нижних нечетких чисел и определяется как (3):

$$E(A) = \frac{E(A^U) + E(A^L)}{2} = \frac{(a_m^L + a_m^U)}{2} + \frac{(a_r^L - a_l^L)}{12} + \frac{(a_r^U - a_l^U)}{12} \quad (3)$$

Экспертный алгоритм построения оценок параметров проекта в виде нечетких чисел второго типа

Шаг 1. Задаются параметры функций принадлежности k экспертных критериев $a_l^i, a_m^i, a_r^i, i = \overline{1, k}$. Для каждого из параметров имеется выборка, состоящая из k элементов (4):

$$(a_l^1, a_l^2, \dots, a_l^k), (a_m^1, a_m^2, \dots, a_m^k), (a_r^1, a_r^2, \dots, a_r^k) \quad (4)$$

Параметры функции принадлежности определяются согласно (5)-(7):

$$a_l = \sum_{i=1}^k \omega_i a_l^i \quad (5)$$

$$a_m = \sum_{i=1}^k \omega_i a_m^i \quad (6)$$

$$a_r = \sum_{i=1}^k \omega_i a_r^i \quad (7)$$

Шаг 2. Производится оценка согласованности экспертов на основе понятия обычного множества, ближайшего к нечеткому множеству.

Экспертный алгоритм построения оценок параметров проекта в виде нечетких чисел второго типа

Обычным множеством, ближайшим к нечеткому множеству (8)

$$A = \{U_A, \mu_A(x)(x \in U_A)\}, \quad (8)$$

называют множество A_0 , характеристическая функция которого имеет вид (9):

$$\mu_{A_0}(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } \mu_A(x) < 0,5 \\ 1, & \text{если } \mu_A(x) > 0,5 \\ 0 \text{ или } 1, & \text{если } \mu_A(x) = 0,5 \end{cases} \quad (9)$$

В качестве показателя согласованности критериев i -го и j -го экспертов может быть рассмотрено отношение (10):

$$k_{ij} = \frac{a_{0i} \cap a_{0j}}{a_{0i} \cup a_{0j}}, \quad i = \overline{1, k}, j = \overline{1, k}, \quad (10)$$

где a_{0i}, a_{0j} – обычные ближайшие множества к нечетким множествам.

Показатель общей согласованности критериев экспертов можно рассчитать согласно формуле (11):

$$k = \frac{a_{01} \cap a_{02} \cap \dots \cap a_{0k}}{a_{01} \cup a_{02} \cup \dots \cup a_{0k}}, \quad (11)$$

где $a_{0i}, i = \overline{1, k}$ – обычные ближайшие множества к нечетким множествам.

Экспертный алгоритм построения оценок параметров проекта в виде нечетких чисел второго типа

Шаг 3. На основе параметров (4)-(7) вычисляются коэффициенты S_L и S_R как (12)-(13):

$$S_L = \sqrt{\frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (a_l^i - a_l)^2} \quad (12)$$

$$S_R = \sqrt{\frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (a_r^i - a_r)^2} \quad (13)$$

Шаг 4. Построение доверительных интервалов на основе распределения Стьюдента для параметров обобщенного экспертного критерия (14)-(15):

$$\sum_{i=1}^k \omega_i a_l^i - \frac{S_L \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}} \leq \hat{a}_l \leq \sum_{i=1}^k \omega_i a_l^i + \frac{S_L \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^k \omega_i a_r^i - \frac{S_R \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}} \leq \hat{a}_r \leq \sum_{i=1}^k \omega_i a_r^i + \frac{S_R \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, \quad (15)$$

где $\Delta_{k-1, \alpha}$ находится из таблицы для вероятностей $P(|t_{k-1}| > \Delta_{k-1, \alpha}) = \alpha$ распределения Стьюдента t_{k-1} .

Экспертный алгоритм построения оценок параметров проекта в виде нечетких чисел второго типа

Шаг 5. Обобщенный экспертный критерий предстает в виде интервального нечеткого числа второго типа, верхняя $\overline{f(x)}$ и нижняя $\underline{f(x)}$ функции принадлежности которых, соответственно задаются параметрами (16) и (17):

$$\overline{f(x)} = \sum_{i=1}^k \omega_i a_l^i - \frac{S_L \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_m^i, \sum_{i=1}^k \omega_i a_r^i + \frac{S_R \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}} \quad (16)$$

$$\underline{f(x)} = \sum_{i=1}^k \omega_i a_l^i + \frac{S_L \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}}, \sum_{i=1}^k \omega_i a_m^i, \sum_{i=1}^k \omega_i a_r^i - \frac{S_R \Delta_{k-1, \alpha}}{\sqrt{k}} \quad (17)$$

Арифметические операции над интервальными нечеткими числами второго типа

Для двух интервальных нечетких чисел $\tilde{A} = [A^U, A^L]$ и $\tilde{B} = [B^U, B^L]$ определены следующие операции (18)-(23):

$$\tilde{A} + \tilde{B} = [(a_l^U + b_l^U, a_m^U + b_m^U, a_r^U + b_r^U), [(a_l^L + b_l^L, a_m^L + b_m^L, a_r^L + b_r^L)]] \quad (18)$$

$$\tilde{A} - \tilde{B} = [(a_l^U - b_r^U, a_m^U - b_m^U, a_r^U - b_l^U), [(a_l^L - b_r^L, a_m^L - b_m^L, a_r^L - b_l^L)]] \quad (19)$$

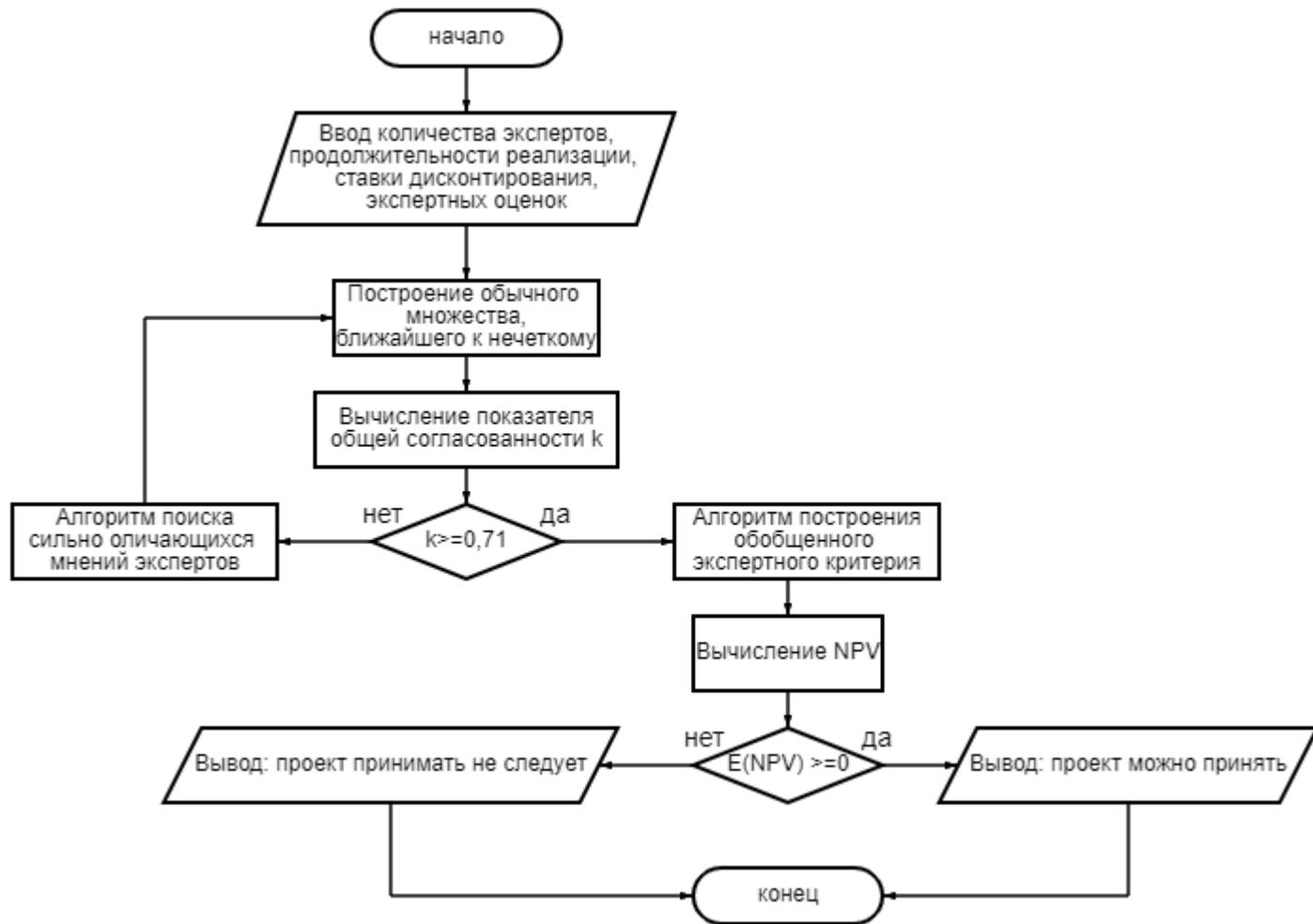
$$\tilde{A} \times \tilde{B} = [(a_l^U \times b_l^U, a_m^U \times b_m^U, a_r^U \times b_r^U), [(a_l^L \times b_l^L, a_m^L \times b_m^L, a_r^L \times b_r^L)]] \quad (20)$$

$$\tilde{A} \div \tilde{B} = [(a_l^U \div b_r^U, a_m^U \div b_m^U, a_r^U \div b_l^U), [(a_l^L \div b_r^L, a_m^L \div b_m^L, a_r^L \div b_l^L)]] \quad (21)$$

$$kA = (k \times a_l^U, k \times a_m^U, k \times a_r^U), (k \times a_l^L, k \times a_m^L, k \times a_r^L), \text{ при } k > 0 \quad (22)$$

$$kA = (k \times a_r^U, k \times a_m^U, k \times a_l^U), (k \times a_r^L, k \times a_m^L, k \times a_l^L), \text{ при } k < 0. \quad (23)$$

Алгоритм нахождения и оценки нечеткого NPV



Данные вычислительного эксперимента. Параметры инвестиционного проекта

Оценка эффективности инвестиционного проекта

Введите название инвестиционного проекта

Введите срок реализации

Введите количество экспертов, участвующих в оценке инвестиционных параметров

Введите ставку дисконтирования

Далее

Рис.2 Входные данные первого проекта

Оценка эффективности инвестиционного проекта

Введите название инвестиционного проекта

Введите срок реализации

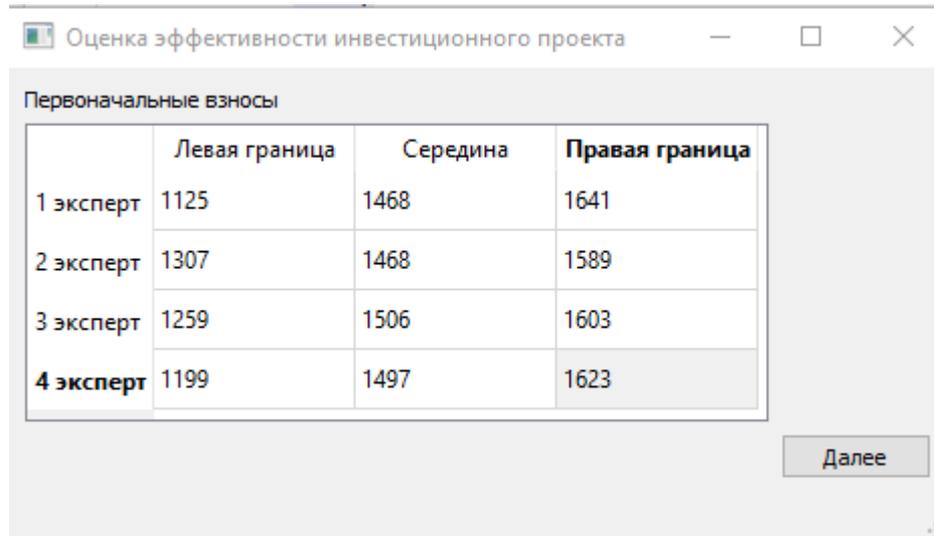
Введите количество экспертов, участвующих в оценке инвестиционных параметров

Введите ставку дисконтирования

Далее

Рис.3 Входные данные второго проекта

Данные вычислительного эксперимента. Первоначальные ВЗНОСЫ



Оценка эффективности инвестиционного проекта

Первоначальные взносы

	Левая граница	Середина	Правая граница
1 эксперт	1125	1468	1641
2 эксперт	1307	1468	1589
3 эксперт	1259	1506	1603
4 эксперт	1199	1497	1623

Далее

Рис.4 Первоначальные взносы

Данные вычислительного эксперимента. Экспертные критерии

Оценка эффективности инвестиционного проекта

Экспертные критерии

	1_л_гр	1_с	1_пр_гр	2_л_гр	2_с	2_пр_гр	3_л_гр	3_с	3_пр_гр	4_л_гр	4_с	4_пр_гр
1 год	-225	-180	-150	-220	-200	-130	-230	-180	-160	-250	-165	-160
2 год	370	495	510	390	498	500	420	470	520	400	485	505
3 год	585	670	705	590	670	700	600	665	710	600	650	710
4 год	700	862	900	870	890	900	720	860	910	690	850	900
5 год	900	1050	1200	900	1030	1150	940	1030	1200	930	1050	1150

Рассчитать

Рис.5 Ввод экспертных критериев для первого проекта

Оценка эффективности инвестиционного проекта

Экспертные критерии

	1_л_гр	1_с	1_пр_гр	2_л_гр	2_с	2_пр_гр	3_л_гр	3_с	3_пр_гр	4_л_гр	4_с	4_пр_гр
1 год	-225	-180	-150	-220	-200	-130	-230	-170	-160	-250	-165	-160
2 год	-100	-85	-75	-105	-90	-65	-105	-90	-70	-100	-85	-70
3 год	370	495	510	390	498	500	420	470	520	400	485	505
4 год	585	670	705	590	670	700	600	665	710	600	650	710
5 год	700	862	900	680	870	890	720	860	910	690	850	900

Рассчитать

Рис.6 Ввод экспертных критериев для второго проекта

Визуализация экспертных критериев за 5 год

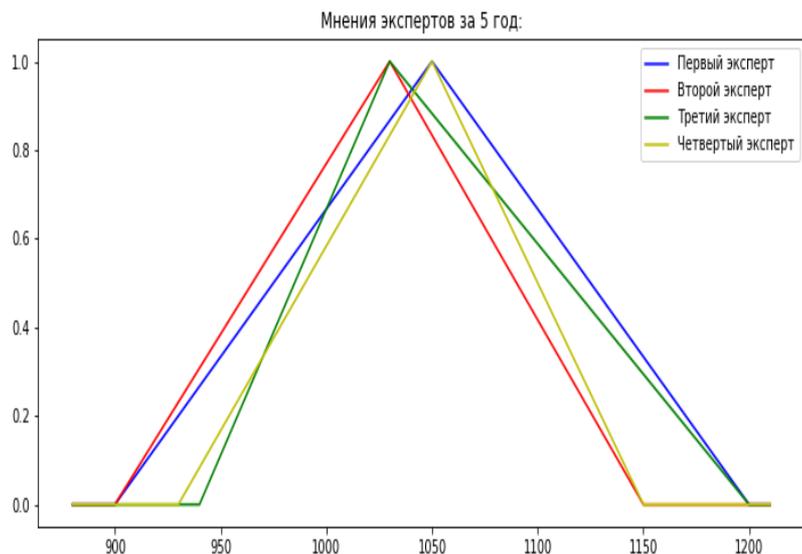


Рис.7 График прогнозируемых доходов для первого проекта

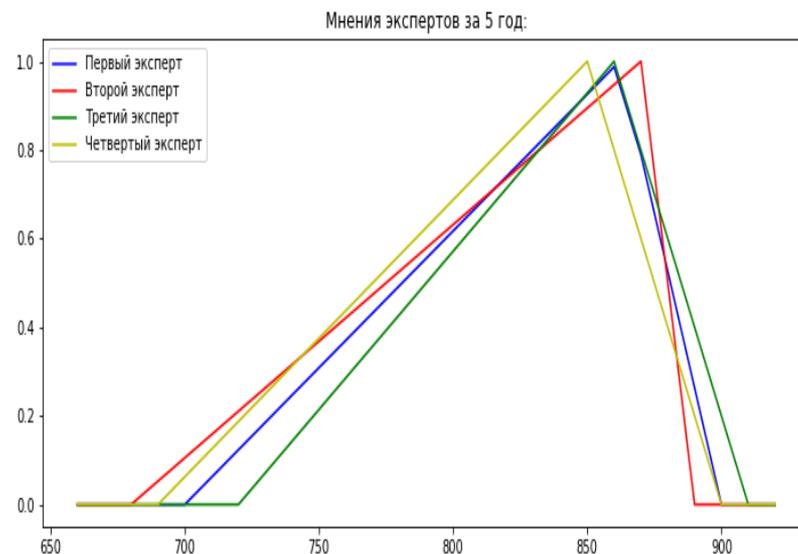


Рис.8 График прогнозируемых доходов для второго проекта

Визуализация обобщенного экспертного критерия

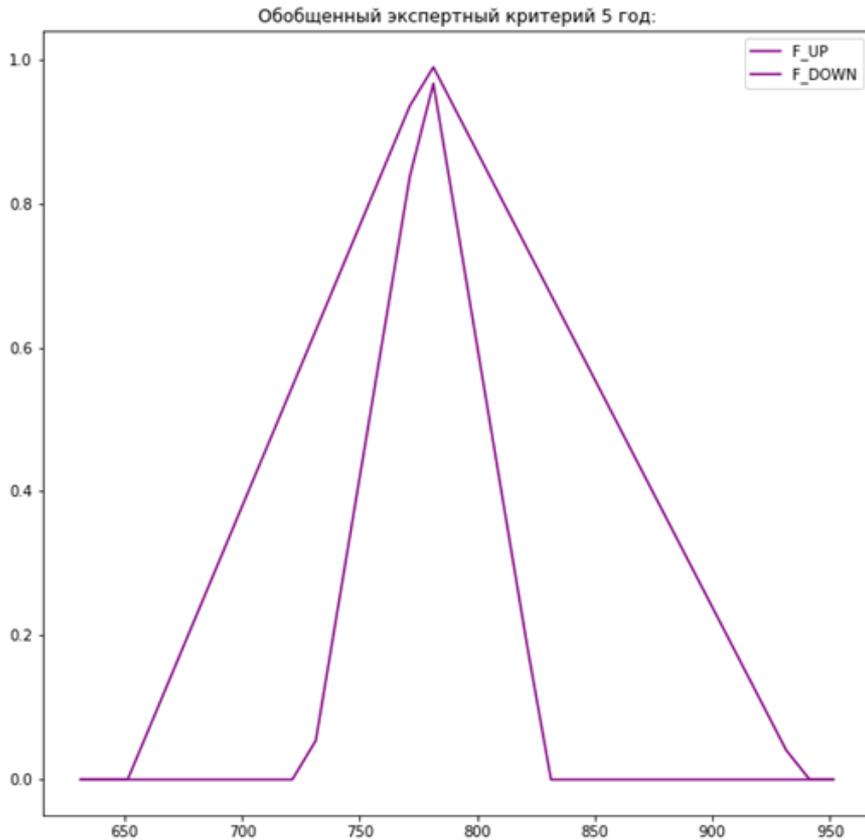


Рис.9 График обобщенного экспертного критерия для первого проекта

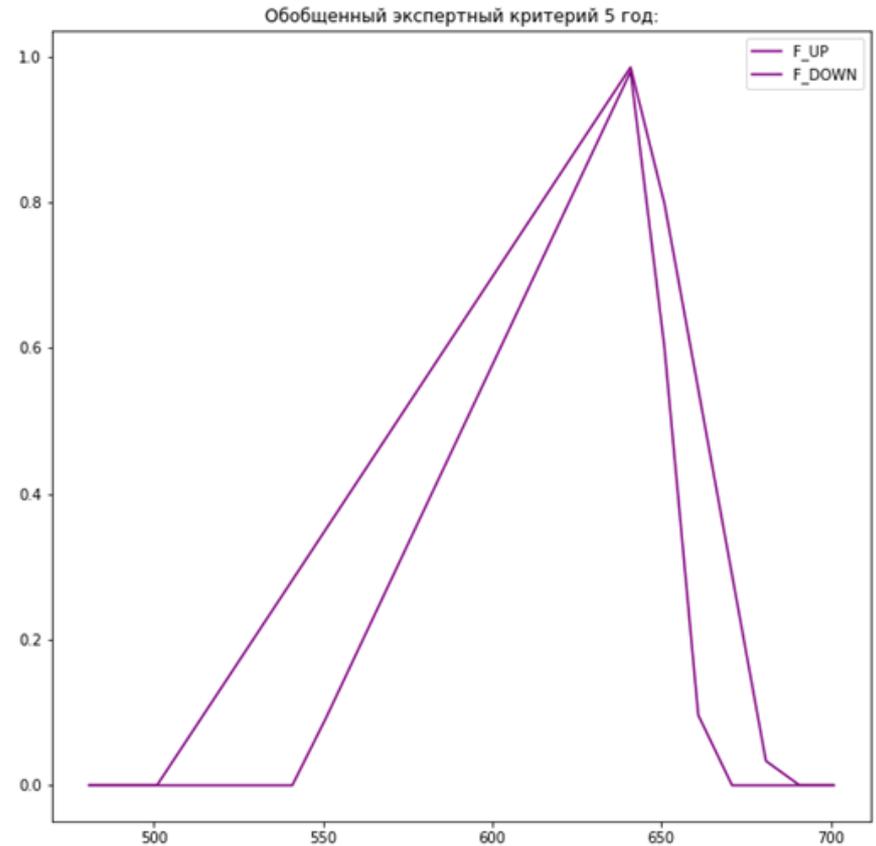


Рис.10 График обобщенного экспертного критерия для второго проекта

Результат работы программы

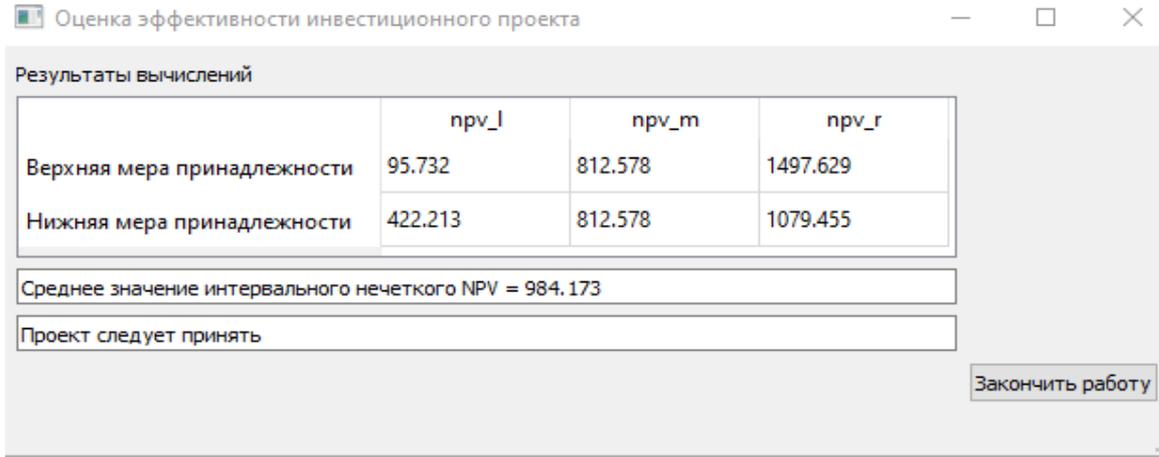


Рис.11 Результат оценки первого проекта

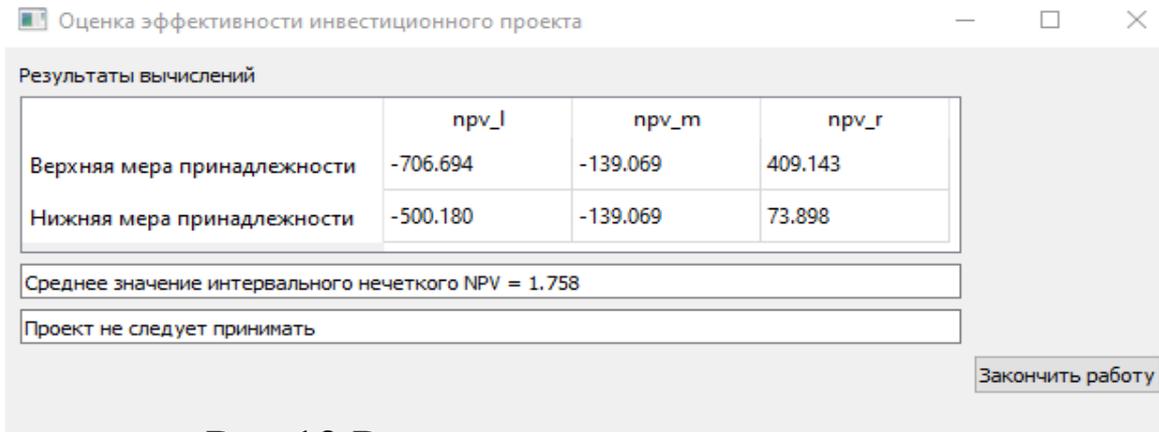


Рис.12 Результат оценки второго проекта

Визуализация результатов

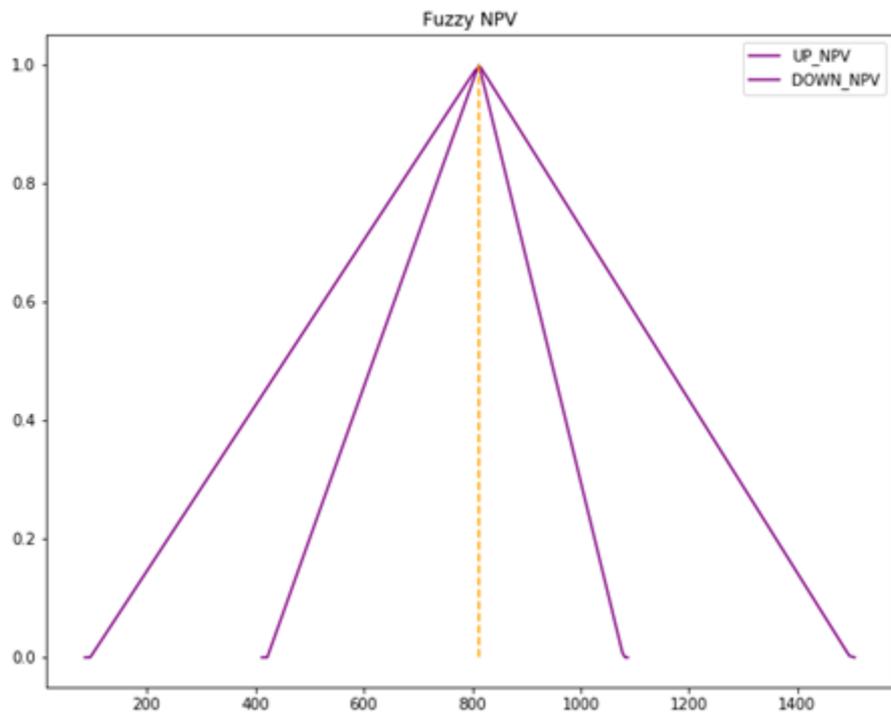


Рис.13 График интервального нечеткого NPV для первого проекта

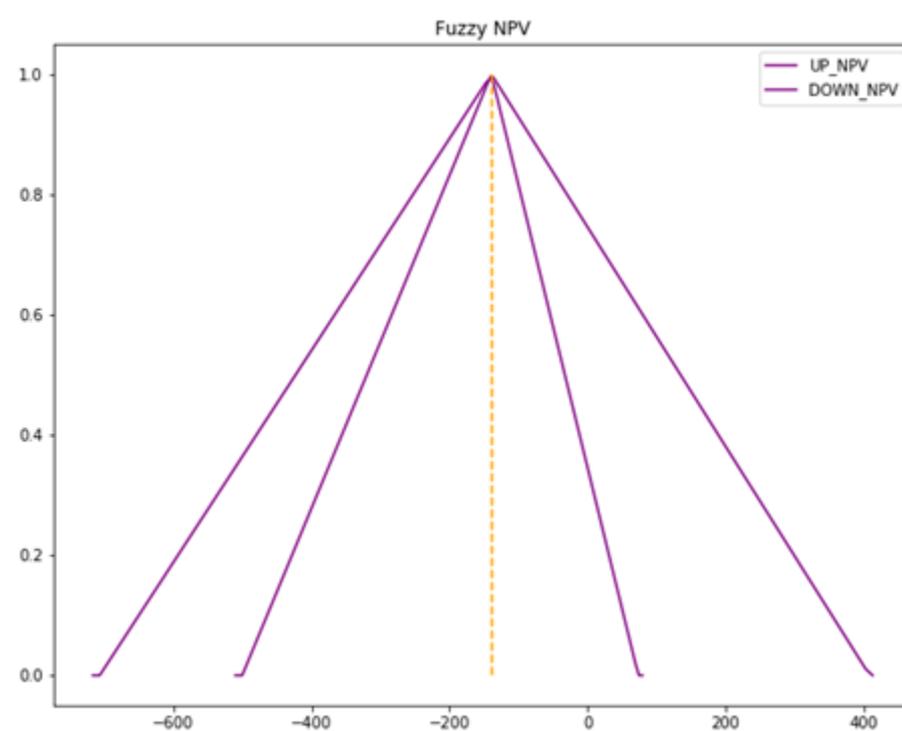


Рис.14 График интервального нечеткого NPV для второго проекта

Заключение

В рамках данной работы были решены следующие задачи:

- Изучены принципы, модели и методы оценки эффективности оценки инвестиционных проектов;
- проанализирована возможность использования аппарата нечетких интервальных чисел второго порядка для оценки эффективности инвестиционных проектов;
- изучена теория нечетких множеств второго типа и условия эффективности их применения в решении экономических задач;
- разработан алгоритм представления параметров проекта в виде интервальных нечетких чисел второго типа, базирующийся на специальной процедуре обработки экспертных оценок параметров проекта, представленных в виде обычных нечетких чисел;
- построен алгоритм нахождения NPV проекта, базирующийся на применении арифметических операций над нечеткими интервальными числами второго типа;
- разработана программная реализация предложенных в работе алгоритмов;
- проведено тестирование разработанного программного обеспечения.

Спасибо за внимание!