

УДК 330.4 JEL C02

5.2.2. Математические, статистические и инструментальные методы в экономике (физико-математические науки, экономические науки)

КОМПЛЕКСНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ РИСКА ПОЗИЦИЙ АССОРТИМЕНТНОГО ПОРТФЕЛЯ

Попова Маргарита Игоревна
ассистент
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина»,
Краснодар, Россия

Хаммуд Али
аспирант
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина»,
Краснодар, Россия

В статье представлена апробация разработанной информационной системы многокритериальной оценки и ранжирования Парето-оптимальных решений на базе прямых методов SAW, TOPIS, GDR на реальных данных монопродуктовой торговой компании, результатом работы которой является ранжированная последовательность позиций ассортиментного портфеля марок питьевой воды по возрастанию оценки риска реализации. Ассортиментный портфель оценивается как инвестиционный, в котором каждая товарная позиция представляет собой инвестиционную составляющую, требующую отдельного анализа и оптимизации. Рассмотрен механизм по созданию функциональной модели информационной системы основанный на использовании метода системного анализа и проектирования в рамках RAMUS. Представлен расширенный функционал, достоинства и универсальность информационной системы, т.е. возможность использования экспертами для любой области исследования, требующей применения методов многокритериальной оптимизации для ранжирования по степени риска. В качестве оценки согласованности полученных результатов авторами использован показатель ранговой корреляции Спирмена. Информационная система работает с данными, сформированными в форматах .xlsx и .csv, которые подготовлены экспертом

Ключевые слова: АССОРТИМЕНТНЫЙ ПОРТФЕЛЬ, МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ, ВЕКТОРНАЯ ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-207-028>

<http://ej.kubagro.ru/2025/03/pdf/28.pdf>

UDC 330.4 JEL C02

5.2.2. "Mathematical, statistical and instrumental methods in economics" (physical and mathematical sciences, economic sciences)

COMPREHENSIVE IMPLEMENTATION OF MULTICRITERIA RISK ASSESSMENT METHODS FOR PRODUCT PORTFOLIO POSITIONS

Popova Margarita Igorevna
assistant
Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russia

Hammoud Ali
graduate student
Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russia

The article presents the approbation of the developed information system for multi-criteria assessment and ranking of Pareto-optimal solutions based on the direct SAW, TOPIS, GDR method on real data from a single-product trading company, the result of which is a ranked sequence of positions of the assortment portfolio of drinking water brands in increasing risk assessment of implementation. The product portfolio is assessed as an investment portfolio, in which each product line represents an investment component that requires separate analysis and optimization. A mechanism for creating a functional model of an information system based on the use of the system analysis and design method within the framework of RAMUS is considered. The expanded functionality, advantages and versatility of the information system are presented, i.e. the possibility of using experts for any field of research that requires the use of multicriteria optimization methods for ranking by degree of risk. To assess the consistency of the results obtained, the authors used the Spearman rank correlation index. The information system works with data generated in formats.xlsx and .csv, which are prepared by an expert

Keywords: ASSORTMENT PORTFOLIO, MULTICRITERIA OPTIMIZATION, VECTOR OBJECTIVE FUNCTION

Введение.

Формирование ассортимента товаров является базовой задачей любой торговой компании, от этого зависит способность компании конкурировать, ее прибыль и устойчивость на рынке. На настоящий момент в мире интеллектуальных технологий и скорости движения информации, высокой конкуренции, изменения предпочтений потребителей, бизнесу, предоставляющему комплекс в виде товаров и услуг по доставке необходимо подходить к формированию ассортимента как к многокритериальной задаче фундаментального уровня. Ассортиментный портфель оценивается как инвестиционный, в котором каждая товарная позиция представляет собой инвестиционную составляющую, требующую отдельного анализа и оптимизации.

Формирование ассортиментного портфеля, как и создание инвестиционного портфеля – это сложный многогранный процесс, который требует внимания и адаптации к постоянной изменяемой среде. Грамотное управление ассортиментным портфелем дает компаниям не только выживать в условиях конкуренции, но и стабильно развиваться, увеличивая прибыль.

Обоснование актуальности исследования и обозначение проблемы.

В условиях высокой неопределенности и риска традиционные методы принятия решений могут оказаться недостаточными. Многокритериальный подход помогает структурировать информацию о возможных сценариях развития событий и выбрать наиболее приемлемый вариант действий.

В [1] автором обозначен факт, имеющий высокую актуальность и на настоящий момент: «является аксиомой утверждение о том, что качество или эффективность различных вариантов реализации тех или других инвестиционных проектов в принципе невозможно оценить одной целевой

функцией. Точнее говоря, достаточно адекватную оценку можно получить лишь с помощью векторной целевой функцией (ВЦФ), состоящей из целого ряда разнородных критериев».

Таким образом, исследования в области многокритериальной оценки и принимаемых решений остаются востребованными благодаря своей способности решать сложные и многогранные задачи, возникающие в современном мире, а созданная авторами «Информационная система (ИС) многокритериальной оценки и ранжирования Парето-оптимальных решений на базе прямых методов SAW, TOPSIS, GDR» [2] представляет экспертный инструмент информационной поддержки и аналитической помощи лицам, принимающим решения (ЛПР) в условиях высокой неопределенности.

Методы и результаты исследования

Предлагаемая авторами «Информационной системы многокритериальной оценки и ранжирования Парето-оптимальных решений на базе прямых методов SAW, TOPSIS, GDR» [2] позволяет провести экспертную оценку с использованием комплекса методов многокритериальной оптимизации, получив проранжированную последовательность множества объектов с точки зрения оценки риска. Причем, множество критериев векторной функции оценки выбирается экспертом в зависимости от области и задачи исследования. Демонстрация работы информационной системы и анализ полученных результатов представлен для задачи оценки ассортиментного портфеля монопродуктовой торговой компании.

Создание функциональной модели информационной системы основывается на использовании метода системного анализа и проектирования в рамках RAMUS, как инструмента построения и визуализации бизнес-процессов. Методология IDEF0 позволяет

графически структурно продемонстрировать функции системы, включая потоки информации и использованные ресурсы.

Основные диаграммы, примененные для анализа и моделирования информационной системы отображают функции в виде блоков, а потоки данных – стрелками, соединяющими эти блоки:

На рисунке 1 представлена контекстная диаграмма уровня А – 0, описывающая систему в целом в виде единой функции, представляющей всю систему, включая входы, выходы, использованные механизмы и управления.

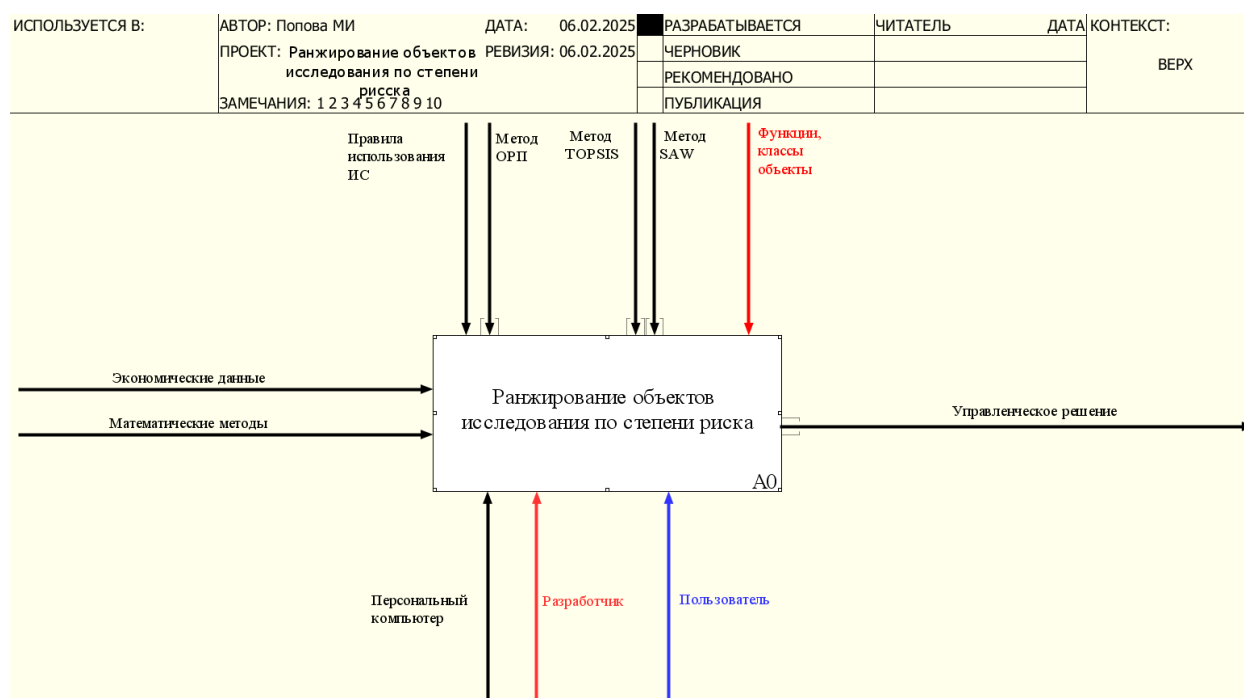


Рисунок 1 – RAMUS диаграмма единой функции, представляющей всю систему, включая входы, выходы, использованные механизмы и управления.

Следующий уровень проектирования системы А0 – декомпозиция контекста: основная функция контекстной диаграммы делится на несколько подфункций, каждая из которых представляет отдельный аспект деятельности системы. Как и в диаграмме выше подфункции связаны потоками данных.

Каждый последующий уровень представляет собой дальнейшую декомпозицию подфункций предыдущего уровня. Это позволяет детально описать каждую подфункцию, разбив её на ещё более мелкие компоненты.

Рисунок 2 демонстрирует отдельные изображения трех алгоритмов многокритериальной оптимизации GDR, SAW и TOPSIS, с отдельно построенными для каждого из них декомпозициями процессов.

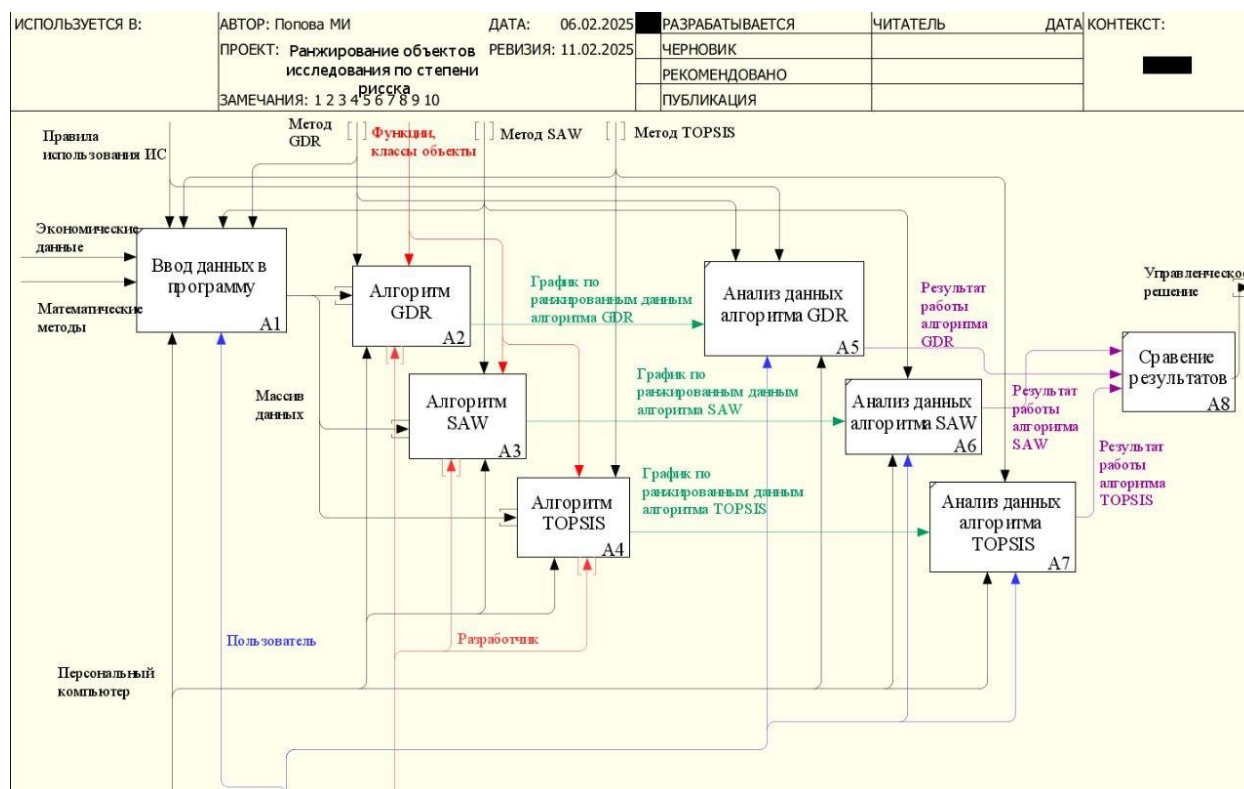


Рисунок 2 – A0 – декомпозиция контекста: основная функция контекстной диаграммы делится на несколько подфункций, каждая из которых представляет отдельный аспект деятельности системы.

На рисунке 3 изображены три последовательных процесса, отражающих последовательно создание массива данных, расчетная часть согласно алгоритму GDR и как результат представление ранжированной по степени риска последовательности объектов. Соответственно рисунки 4 и 5 отображают подобные процессы для двух других алгоритмов SAW и TOPSIS.

В системе RAMUS по всем отображенным в виде декомпозиции процессам формируется отчет по результатам в зависимости от того, какой метод многокритериальной оптимизации выбран экспертом (рисунки 3-5).

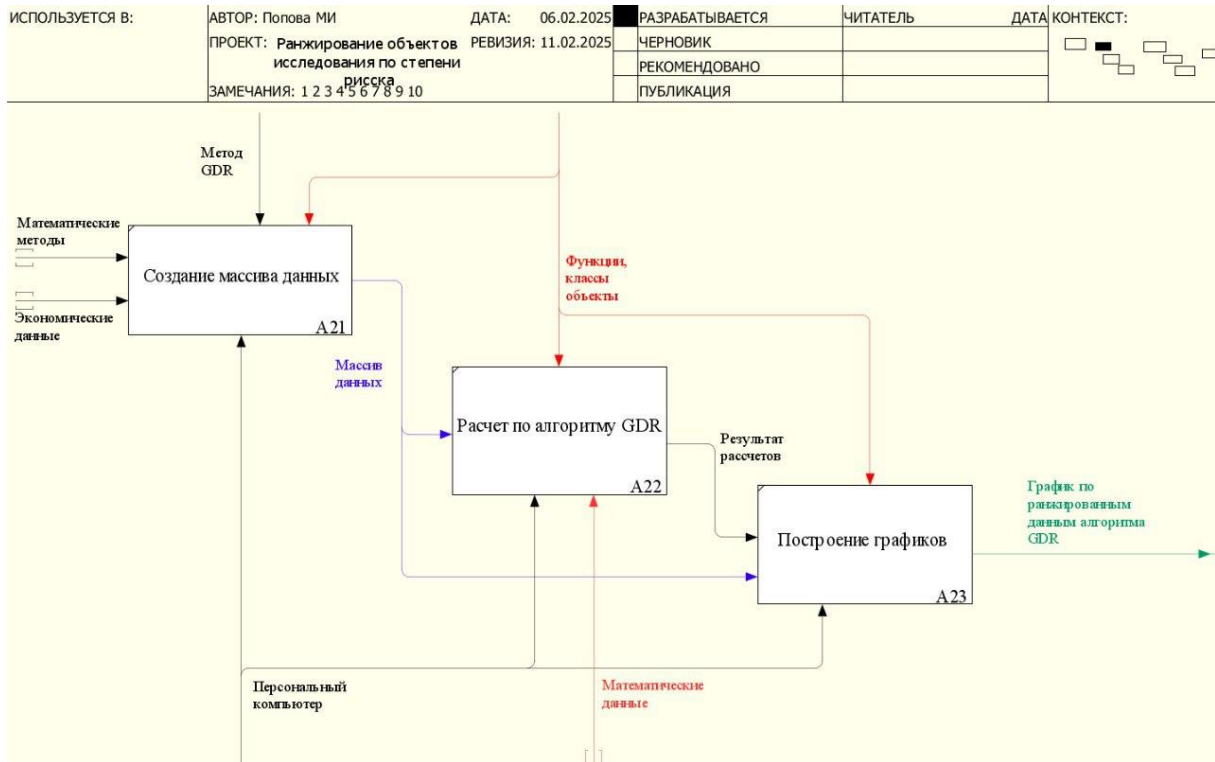


Рисунок 3 – Декомпозиция трех последовательных процессов: создание массива данных, расчетная часть согласно алгоритму GDR, вывод результата.

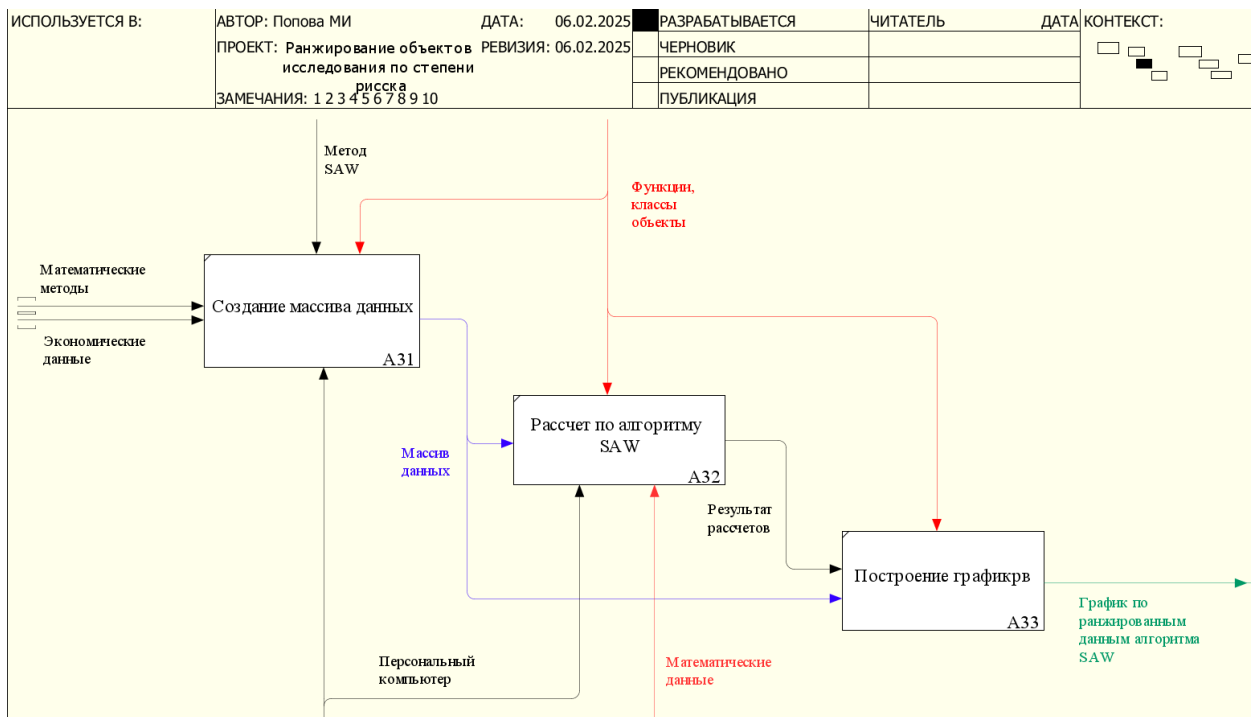


Рисунок 4 – Декомпозиция трех последовательных процессов: создание массива данных, расчетная часть согласно алгоритму SAW, вывод результата.

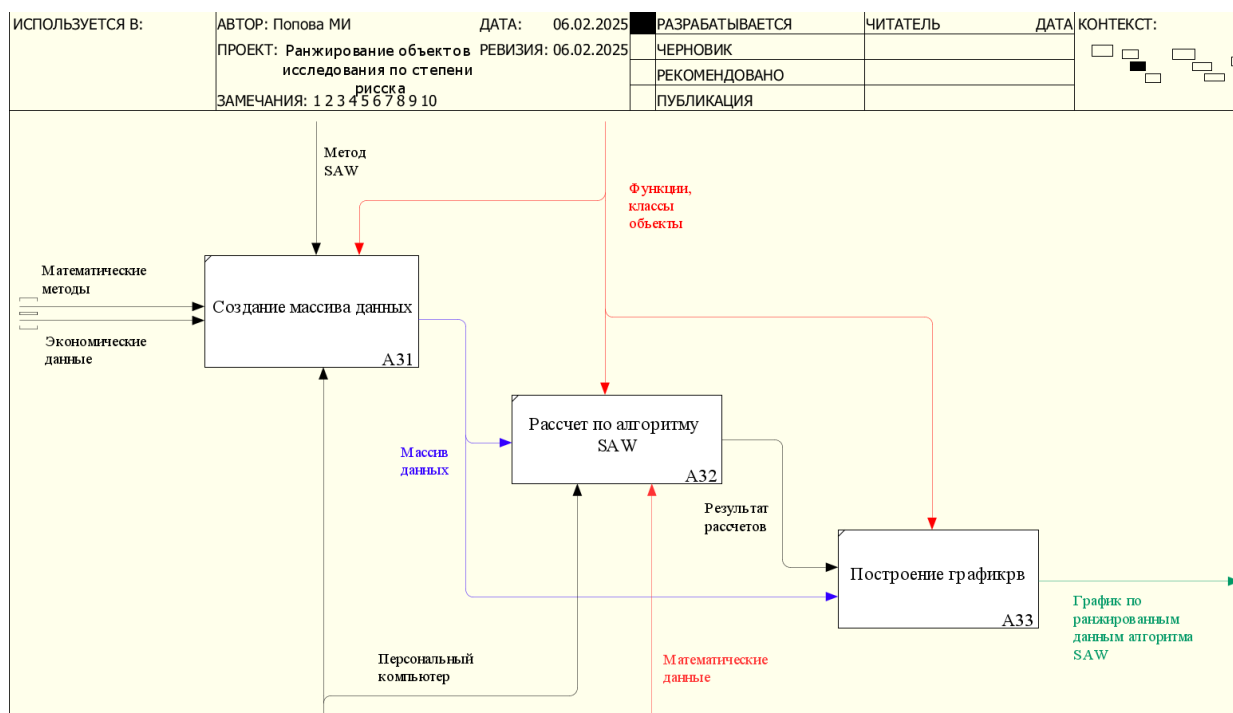


Рисунок 5 – Декомпозиция трех последовательных процессов: создание массива данных, расчетная часть согласно алгоритму TOPSIS, вывод результата.

Основное преимущество разработанной «Информационной системы многокритериальной оценки и ранжирования Парето-оптимальных решений на базе прямых методов SAW, TOPSIS, GDR» [2] универсальность, т.е. возможность использования экспертами для любой области исследования, требующей применения методов многокритериальной оптимизации для ранжирования по степени риска. ИС работает с данными, сформированными в форматах .xlsx и .csv., которые подготовлены исследователем.

Для примера авторами использован массив данных многокритериальной оценки трендоустойчивости ВР объемов продаж марок бутилированной питьевой воды 19л. из статьи автора Поповой М.И. [3]. В качестве критериев ВЦФ использованы пять показателей: показатель вариации (V_i), показатель асимметрии (A_i), показатель эксцесса (E_i),

значение эксцесса за пределами «головой ВР» $[M \pm 3\sigma]$ и показатель Херста H .

	A	B	C	D	E	F
1		F1	F2	F3	F4	F5
2	«Ажек»	0,48	0,85	3,48	0,742	0,11
3	«Кубай»	1,27	2,04	9,48	8,07	0,11
4	«Архыз»	0,75	1,82	9,58	7,83	0,15
5	«Mountain Kids»	0,91	3,32	23,76	22,65	0,39
6	«Mountain Air»	0,58	0,67	3,19	0,75	0,15
7	«Пилигрим»	0,98	0,94	3,62	1,62	0,09
8	«Домбай»	0,69	1,03	3,8	1,67	0,14
9	«Источник южных гор»	0,69	1,03	3,81	1,37	0,14
10	«Жемчужина Кавказа»	0,74	0,94	3,78	2,045	0,1

Рисунок 6 – Пример подготовки данных «Марки питьевой воды» для использования в информационной системе многокритериальной оценки и ранжирования парето-оптимальных решений на базе прямых методов SAW, TOPSIS, GDR.

Как и в статье [3] авторами принято в качестве гипотезы следующее утверждение: статистические показатели, рассчитанные на базе временных рядов продаж питьевой воды разных марок, отличаются по всем позициям выбранным в качестве критериев ВЦФ.

Обоснование построения многокритериальной векторной функции оценки риска позиций ассортиментного портфеля, согласно векторной оценке трендоустойчивости временных рядов подробно изложена в [1, 3, 5-9]. В [10-12] предложены другие варианты формирования ВЦФ оценки альтернатив. В предлагаемом к разбору примере входные данные $V_i, i = \overline{1,9}$, это девять марок питьевой воды и значения ВЦФ, где F1 – коэффициент вариации (V_i), F2 – асимметрии (A_i), F3 – эксцесса (E_i), F4 – значение эксцесса за пределами «головой ВР» $[M \pm 3\sigma]$ и F5 – показатель Херста H соответственно Рисунку 6.

В результате имеем пятикритериальную векторную целевую функцию (ВЦФ):

$$F(v) = (F_1(v), F_2(v), \dots, F_5(v)), \tag{1}$$

которая состоит только из минимизируемых критериев. Пятый критерий – показатель Херста преобразован (нормирован) $H^* = 1 - H$, т. к. в своем базовом определении значение показателя Херста колеблется в интервале от 0 до 1, причем чем ближе значение к 1, тем более высоким уровнем трендоустойчивости обладает исследуемый временной ряд. В связи с тем, что все критерии ВЦФ должны иметь одинаковый вид экстремума имеет место применение предложенного правила преобразования экстремума критерия с максимизируемого на минимизируемый. Численные данные по маркам питьевой воды для обработки алгоритмами многокритериальной оптимизации и векторной оценки риска представлены в таблице на рисунке 6.

Принципиально важным является трактовка так называемого «принципа Парето», которому уделено отдельное внимание в теории выбора и принятия решений [8]. Согласно этому принципу, все позиции ассортиментного портфеля могут принадлежать только Паретовскому множеству \tilde{V} ; элементы подмножества $(V \setminus \tilde{V})$ являются доминируемыми в рамках значений критериев ВЦФ (1) и поэтому не могут рассматриваться в качестве позиций ассортимента с минимальной оценкой риска [1]. Основная задача, решаемая в рамках исследования оценить «рискОвость» каждой отдельной позиции ассортимента и механическое использование принципа Парето в рамках поставленной задачи является неправомерным. Авторами предлагается осуществить ранжирование позиций ассортимента (объектов множества V) по возрастанию оценки риска используя известные методы многокритериальной оптимизации. Поэтому в завершение всякой конкретной реализации многокритериального подхода осуществляется ранжирование (упорядочение) паретовских оптимумов в порядке возрастания их оценки риска по совокупности значений критериев ВЦФ используя обобщенное решающее правило (ОРП) или в аббревиатуре английского языка GDR , этот алгоритм, разработан Поповой

Е.В. и впервые пошагово представлен в [1] и такие известные методы многокритериального выбора, как SAW и TOPSIS [4].

Преимущество алгоритма GDR как в базовой интерпретации [1] так и в расширенном варианте, реализованном авторами статьи в информационной системе заключается в комплексном использовании базовых решающих правил методов SAW и TOPSIS в рамках метода GDR [1].

Программный модуль, выполненный для ИС многокритериальной оценки и ранжирования парето-оптимальных решений на базе прямых методов SAW, TOPSIS, GDR направлен на получение оценки риска каждого объекта исследования и их последующее ранжирование на основе сформированных экспертом данных.

File Selection
The file which you selected is: C:/MCDM/Марки питьевой воды.xlsx
Select Data File

Settings
 Use Weights
e.g., 0.25,0.25,0.25,0.25
 Use Normalization
Select the method of the normalization: General Min-Max Scaling default GDR
e.g., 1,2,3,4

Processing
Start Processing

Рисунок 7 – Интерфейс информационной системы многокритериальной оценки и ранжирования Парето-оптимальных решений на базе прямых методов SAW, TOPSIS, GDR: активация меню GDR.

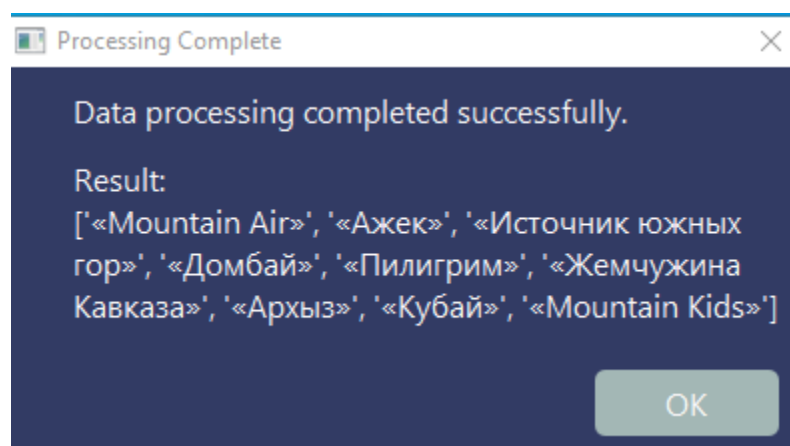


Рисунок 8 – Результат метода GDR.

Результат применения алгоритма GDR представлен на рисунке 8. Наименее рисковыми на основе векторной пятикритериальной функции являются такие марки как «Mountain Air» и «Ажек», наиболее «рисковую» позицию занимает марка питьевой воды «Mountain Kids».

Отметим следующее преимущество представленной авторами информационной системы по сравнению с [12], в которой:

- 1) реализован только один алгоритм ОПП (GDR);
- 2) не учтен факт наличия экспертных или пользовательских предпочтений в виде вектора коэффициентов значимости критериев, входящих в состав ВЦФ оценки риска;
- 3) отсутствует выбор метода нормализации входных данных, имеющий влияние как на сами входные данные, так и на результирующую последовательность.

Отличительная особенность разработанной ИС заключается в том, что реализована расширенная версия применения прямых методов многокритериальной оптимизации, а именно, каждому критерию ВЦФ соответствует однозначно коэффициент относительной важности

$$\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_5), \lambda_i, i = \overline{1, 5}. \quad (2)$$

При использовании в нашем случае алгоритма ОПП (SAW, TOPSIS) наилучшим выбором из ПМ \tilde{V} или полного множества альтернатив (ПМА)

V^0 объявляется такой элемент $v^0 \in \tilde{V}$, на котором результат работы алгоритма достигает требуемого «экстремума». При этом необходимо помнить, что элемент v^0 является лишь кандидатом на «роль лучшего решения».

Необходимость процедуры нормализации входных данных или нормирования значений ВЦФ предлагаем рассмотреть на конкретной задаче. Эксперт или ЛПР использует методическое или математическое обеспечение для выбора и принятия решения в нашем случае пятикритериальной задаче с ВЦФ $F(v) = (F_1(v), F_2(v), \dots, F_5(v))$, которая в МДР $V = \{v_i\}, i = \overline{1,9}$, определяет собой ПМ $\tilde{V} \subseteq V$. Вопросы нормирования всех или отдельных критериев $F(v)$ данной ВЦФ возникают в случае невыполнения следующих условий, которые подробно прописаны в [1]:

1. Однородность по виду экстремума: либо все критерии данной ВЦФ являются минимизируемыми, либо все являются максимизируемыми, в нашем случае все критерии являются минимизируемыми, т.е. последовательность оценивается по возрастанию риска;
2. Соизмеримость: все критерии данной ВЦФ имеют одну и ту же единицу измерения;
3. Сопоставимость численных значений критериев: единицы величин $(\lambda_i F_i(v)), i = \overline{1, N}$ отражают одинаковый вклад локальных полезностей этих величин в интегральную полезность данной ВЦФ.

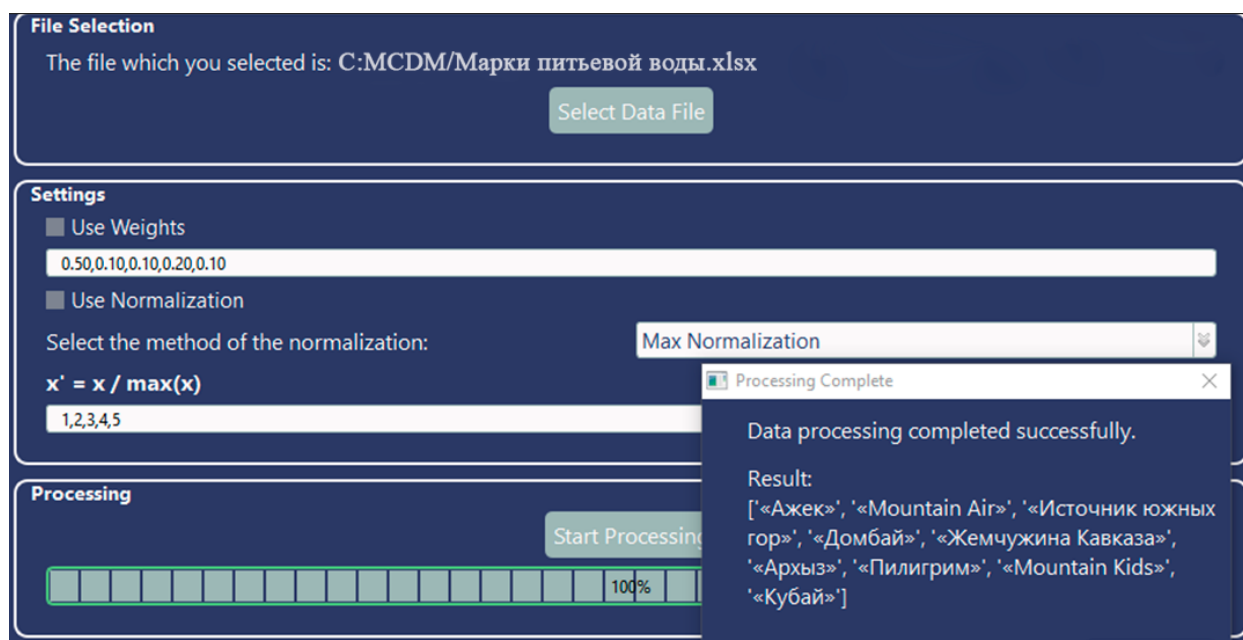


Рисунок 9 – Результат метода GDR с учетом коэффициентов значимости критериев ВЦФ.

Термин «нормирование» критериев данной ВЦФ означает соответствующие преобразования их к виду, удовлетворяющему указанным условиям 1-3. Отметим, что в ИС реализованы 23 метода нормализации данных, причем эксперт имеет возможность применить методы нормализации данных как к значениям всех критериев, так и выборочно. На рисунках 9 и 10 демонстрируется реализация вышеперечисленных отличительных преимуществ присущих разработанной «Информационной системе многокритериальной оценки и ранжирования Парето-оптимальных решений на базе прямых методов SAW, TOPSIS, GDR» [2].

На рисунке 9 демонстрируется возможность присвоения каждому критерию коэффициента важности, в [1] показано, что сумма коэффициентов важности равна 1, так критерию $F_1(v)$ соответствует коэффициент $\lambda_1 = 0,5$, критерию $F_2(v)$ соответствует $\lambda_2 = 0,1$, $F_3(v)$ соответствует $\lambda_3 = 0,1$, $F_4(v)$ соответствует $\lambda_4 = 0,2$, критерию $F_5(v)$ соответствует $\lambda_5 = 0,1$.

Поясним, почему выбраны такие значения коэффициентов относительной важности для каждого критерия: $\lambda_1 = 0,5$ – соответствует такому статистическому показателю как вариация, значимость показателя вариации высокая, т.к. именно «выбросы» данных создают сложности прогноза в формировании запаса ассортиментной позиции; $\lambda_4 = 0,2$ – соответствует показателю эксцесса за пределами «головы ВР» [$M \pm 3\sigma$] или, наличие «тяжелого хвоста» который является характеристикой неустойчивости процесса продаж; остальные значения критериев асимметрия, эксцесс и показатель Херста имеют одинаковы коэффициент относительной важности равный 0,1.

Рисунок 10 демонстрирует возможность выбора одного из методов нормализации данных в зависимости от их природы, единицы измерения и размерности [1].

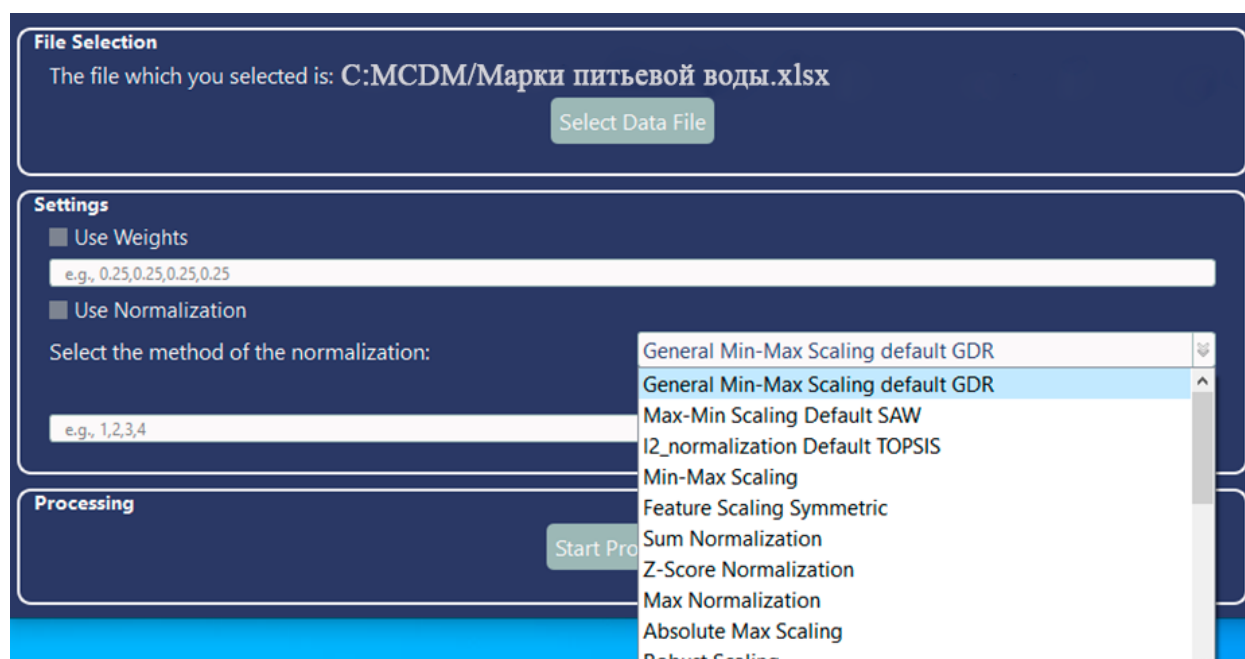


Рисунок 10 – Демонстрация «выпадающего» списка нормализации данных при использовании метода GDR.

Вторым методом, реализованным в разработанной информационной системе использован известный метод SAW (Simple Additive Weighting), или метод простого аддитивного взвешивания, является одним из самых

известных и широко используемых методов многокритериального (многоатрибутивного) принятия решений [13]. При использовании этого метода лицо, принимающее решение (ЛПР), может получить общую оценку для каждой альтернативы, умножая значение по шкале оценок для каждой величины критерия (атрибута) на вес, назначенный атрибуту, и затем суммируя эти значения по всем атрибутами. Таким образом, ЛПР получает альтернативу с самой высокой оценкой (наибольшим средним весом), которая является ответом задачи принятия решений [13]. В рамках постановки задачи по оценке риска ассортиментного портфеля на основе метода SAW проранжируем позиции (марки питьевой воды) с точки зрения возрастания риска. Постановка задачи требует изменения направленности критериев, т.е. наилучшим в этом случае решением будет альтернатива с наименьшей векторной оценкой риска или наименьшим средним весом – ассортиментная позиция «Ажек» и «Mountain Air», соответственно наиболее «рисковой» является «Mountain Kids». Результат работы информационной системы представлен на Рисунке 11.

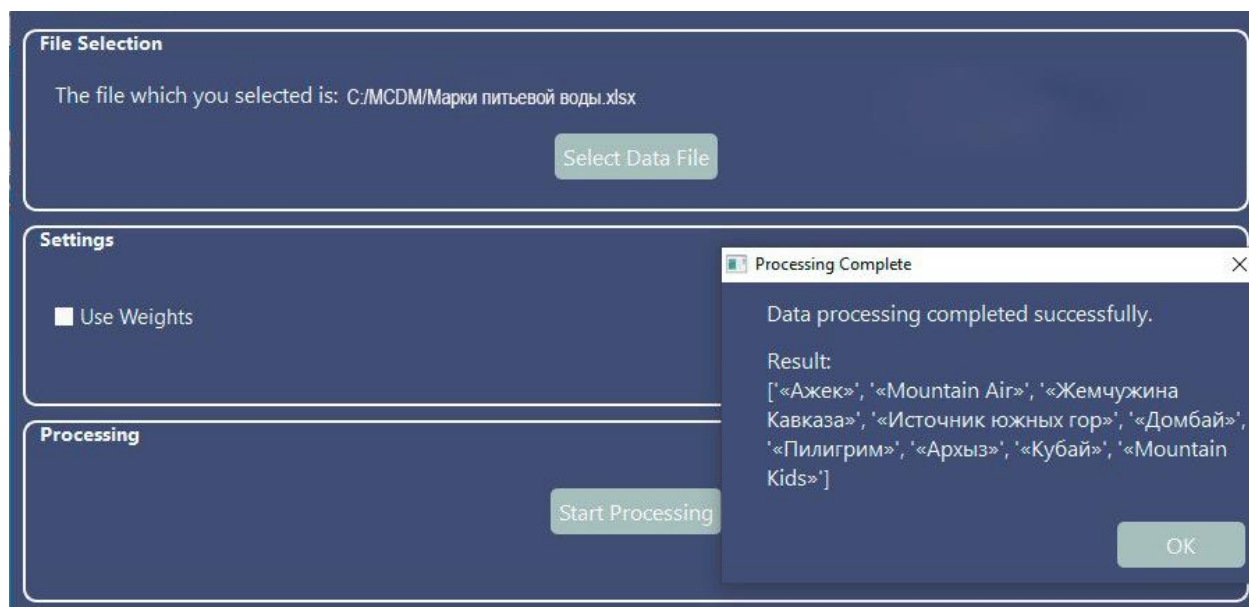


Рисунок 11 – Интерфейс информационной системы многокритериальной оценки и ранжирования Парето-оптимальных решений на базе прямых методов SAW, TOPSIS, GDR: активация меню SAW и результат ранжирования SAW.



Рисунок 12 – Интерфейс информационной системы многокритериальной оценки и ранжирования Парето-оптимальных решений на базе прямых методов SAW, TOPSIS, GDR: активация меню SAW с векторной оценкой коэффициентов важности и результат ранжирования SAW.

Третий метод TOPSIS (*Метод идеальной точки*), встроенный в арсенал алгоритмов реализованных в авторской система базируется на следующей концепции: выбранная альтернатива (ассортиментная позиция или марка питьевой воды) с наименьшей векторной оценкой риска должна иметь наименьшее расстояние до идеального решения и наибольшее расстояние до идеального негативного решения [13,14]. Ранжирование марок питьевой воды на основе алгоритма TOPSIS в рамках созданной информационной системы в качестве результата выдает последовательность решений, в которой первый ранг присваивается позиции питьевые воды «Ажек» и «Mountain Air», которые находятся на «наименьшем расстоянии» до идеальной точки и оцениваются как наименее рискованные, последний девятый ранг присущ такой позиции как «Mountain Kids» и наиболее близок к негативному, т.е. имеет высокую оценку риска по совокупности рисков критериев (рисунок 13).

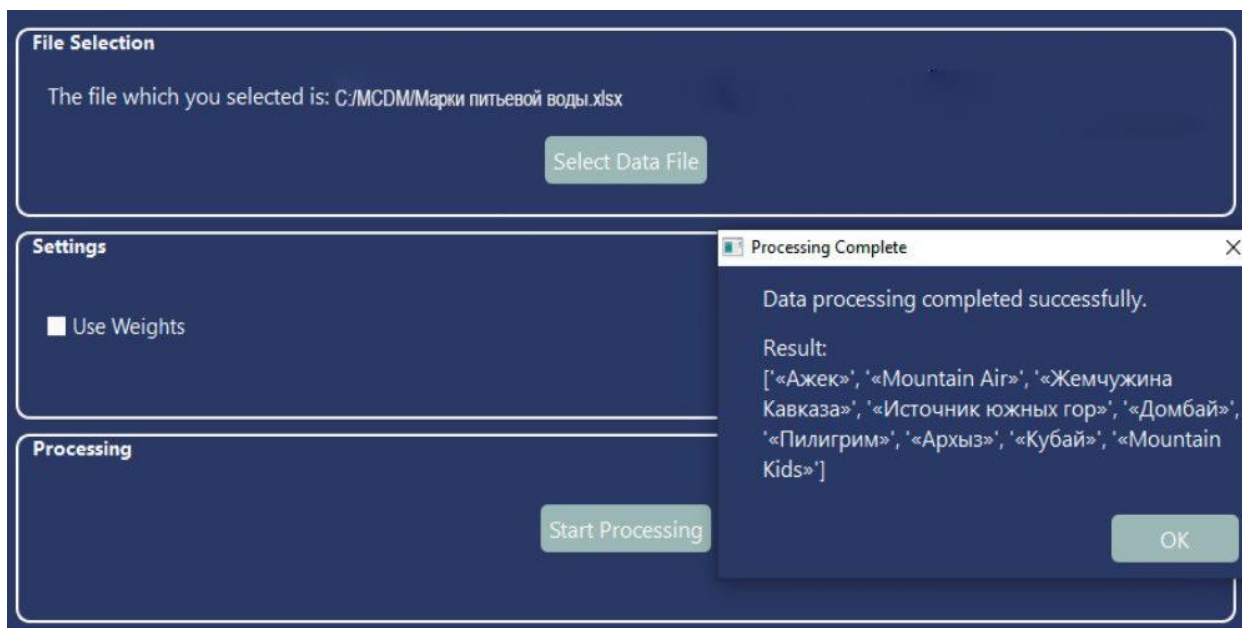


Рисунок 13 – Интерфейс информационной системы многокритериальной оценки и ранжирования Парето-оптимальных решений на базе прямых методов SAW, TOPSIS, GDR: активация меню TOPSIS и результат ранжирования TOPSIS.



Рисунок 14 – Интерфейс информационной системы многокритериальной оценки и ранжирования Парето-оптимальных решений на базе прямых методов SAW, TOPSIS, GDR: активация меню TOPSIS с векторной оценкой коэффициентов важности и результат ранжирования TOPSIS.

Результатом применения методов многокритериальной оценки к ранжированию составляющих элементов ассортиментного портфеля с точки зрения риска продаж каждой позиции выступают следующие последовательности: данные таблицы 1 демонстрируют последовательности оценки на базе ВЦФ, критерии которой по своему

весу равнозначны; последовательности таблицы 2 представляют результат работы ВЦФ, критерии которой имеют соответствующий коэффициент важности, причем для всех трех методов многокритериальной оптимизации GDR*, SAW* и TOPSIS*.

Таблица 1. Ранжированные последовательности позиций ассортиментного портфеля монопродуктовой торговой компании, критерии оценки равнозначны по относительной важности для каждого метода.

	GDR	SAW	TOPSIS
1	«Mountain Air»	«Ажек»	«Ажек»
2	«Ажек»	«Mountain Air»	«Mountain Air»
3	«Источник южных гор»	«Жемчужина Кавказа»	«Жемчужина Кавказа»
4	«Домбай»	«Источник южных гор»	«Источник южных гор»
5	«Пилигрим»	«Домбай»	«Домбай»
6	«Жемчужина Кавказа»	«Пилигрим»	«Пилигрим»
7	«Архыз»	«Архыз»	«Архыз»
8	«Кубай»	«Кубай»	«Кубай»
9	«Mountain Kids»	«Mountain Kids»	«Mountain Kids»

Таблица 2. Ранжированные последовательности позиций ассортиментного портфеля монопродуктовой торговой компании, критерии оценки различны по относительной важности.

	GDR*	SAW*	TOPSIS*
1	«Ажек»	«Ажек»	«Ажек»
2	«Mountain Air»	«Mountain Air»	«Mountain Air»
3	«Источник южных гор»	«Источник южных гор»	«Источник южных гор»
4	«Домбай»	«Домбай»	«Домбай»
5	«Жемчужина Кавказа»	«Жемчужина Кавказа»	«Жемчужина Кавказа»
6	«Архыз»	«Архыз»	«Архыз»
7	«Пилигрим»	«Пилигрим»	«Пилигрим»
8	«Mountain Kids»	«Кубай»	«Кубай»
9	«Кубай»	«Mountain Kids»	«Mountain Kids»

Анализ результирующих ранжированных последовательностей показал, что последовательности, полученные на базе методов SAW и TOPSIS совпадают по всем позициям, причем это касается и взвешенных критериев согласно коэффициентам важности, и в случае равнозначности критериев ВЦФ. Что касается последовательностей, полученных на базе GDR, то они отличаются как между собою, при введении вектора

коэффициентов относительной важности, так и от результатов SAW и TOPSIS.

Для оценки согласованности полученных разными методами результатов в виде последовательностей позиций ассортимента авторами предлагается использовать ранговый коэффициент корреляции. Корреляция Спирмена известна как непараметрическая корреляция, которая используется в статистических исследованиях для категориальных данных для определения статистической меры силы связи между двумя непрерывными переменными. Используя преимущества ранговой корреляции Спирмена, такие как его возможности для расчета качественных наблюдений, и, что особенно важно для нашего примера, этот метод подходит в случае, когда ряд предоставляет информацию о предпочтительности его элементов, а не фактические значения.

Представленная авторская информационная система имеет вкладку Spearman Analysis для сравнения и оценки согласованности полученных решений. Это особенно важно в случае исследования больших массивов данных. Рисунок 15 демонстрирует вкладку Spearman Analysis. Эксперт имеет возможность загрузить полученные результаты (последовательности) и получить на выходе значение ранговой корреляции в двух видах: в качестве рисунка с соответствующим цветом и значением показателя корреляции Спирмена (рисунок 15) или в виде файла форматов .xlsx и .csv (таблица 3).



Рисунок 15 – Интерфейс информационной системы многокритериальной оценки и ранжирования Парето-оптимальных решений на базе прямых методов SAW, TOPSIS, GDR: активация меню Spearman Analysis.

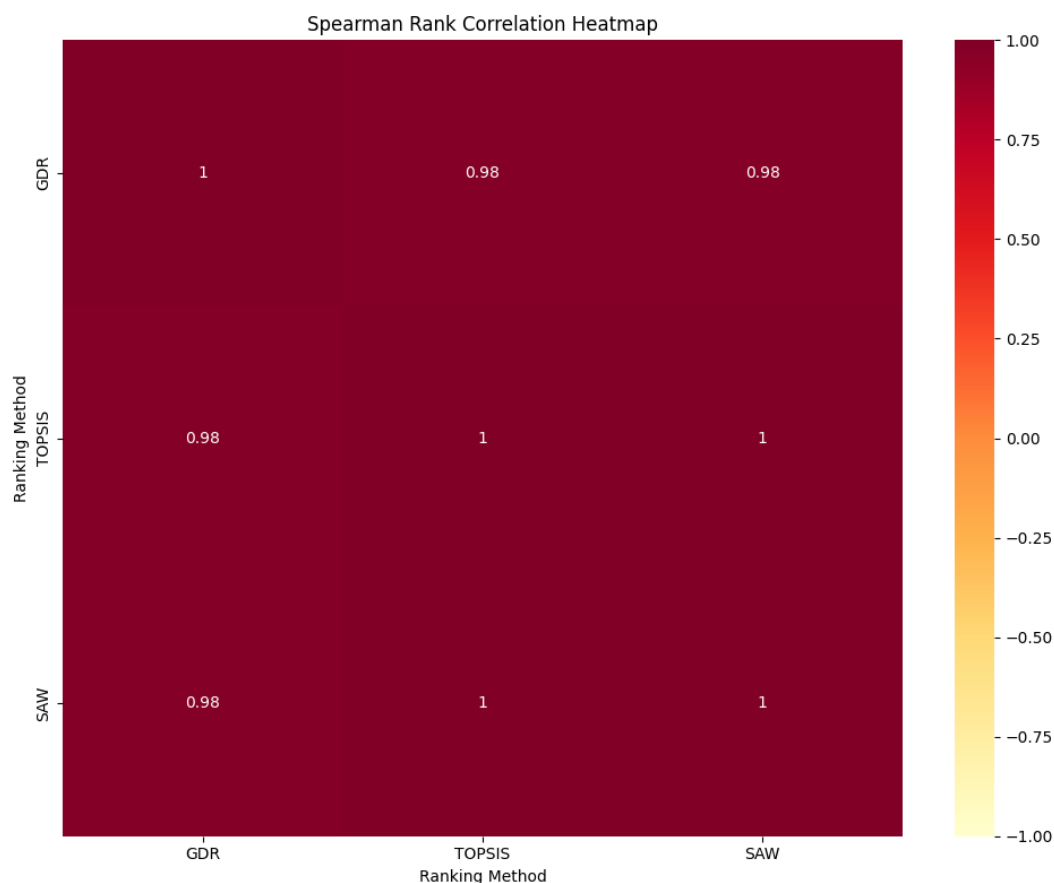


Рисунок 16 – Результат Spearman Analysis Задан вектор коэффициентов относительной важности критериев.

Таблица 3. – Оценка ранговой корреляции Спирмена на согласованность результатов, полученных методами GDR, SAW, TOPSIS

Наименование методов многокритериальной оптимизации	Spearman Correlation (критерии оценки равнозначны)	Spearman Correlation (задан вектор коэффициентов относительной важности критериев)
GDR_TOPSIS	0,93	0,98
GDR_SAW	0,93	0,98
TOPSIS_SAW	1	1

Результат работы информационной системы в виде автоматизации трех алгоритмов многокритериальной оценки без определения показателя значимости каждого отдельно взятого критерия оценки риска, считая, что все критерии пятикритериальной ВЦФ равно значимы, так и с обозначенным вектором коэффициентов значимости представлены в виде трех проранжированных последовательностей ассортиментного портфеля монопродуктовой торговой компании (таблица 1 и таблица 2). Значения таблицы 3, как и рисунка 16 подтверждают тесную связь между полученными результирующими проранжированными позициями ассортиментного портфеля, т.е. коэффициент ранговой корреляции Спирмена находится в интервале от 0,93 до 1.

3 Заключение

Информационная система многокритериальной оценки и ранжирования Парето-оптимальных решений на базе прямых методов SAW, TOPSIS, GDR разработанная авторами апробирована на реальных данных ассортиментного портфеля торговой монопродуктовой компании, реализующей бутилированную питьевую воду. В статье подробно прописаны бизнес-процессы, построены диаграммы, определены процессы автоматизации.

Основное достоинство представленной ИС ее универсальность, как и комплекс методов многокритериальной оптимизации, реализованный в рамках информационной системы. Функционал ИС по сравнению с [12]

значительно расширен, включая, во-первых, методы многокритериальной оптимизации SAW и TOPSIS, во-вторых, добавлена возможность использования коэффициентов относительной важности критериев ВЦФ, что является для эксперта дополнительным инструментом оценки, в-третьих, предложен выбор способа нормирования данных, необходимость применения которых возникает при работе с критериальными значениями разной размерности, в-третьих, встроена возможность оценки согласованности решений, полученных на базе различных методов многокритериальной оптимизации.

Результатом работы ИС является ранжированная последовательность ассортиментных позиций. Анализ результатов использования каждого метода в отдельности показал, что как наименее, так и наиболее «рискованные» ранги присущи одним и тем же ассортиментным позициям. Причем, при использовании вектора коэффициентов относительной важности критериев результаты отличаются только по двум завершающим, т.е. наиболее «рискованным» позициям ассортимента. В случае принятия решения о равнозначности критериев срединные ассортиментные позиции имеют ранги отличительные при использовании комплексного метода ОРП (GDR) и методов SAW и TOPSIS, таким образом, окончательное принятие решения по этим позициям ассортиментного портфеля остается за ЛПР.

Список источников

1. Попова, Е. В. Математические модели и методы оценки рисков социально-экономических процессов: специальность 08.00.13 "Математические и инструментальные методы экономики": диссертация на соискание ученой степени доктора экономических наук / Попова Елена Витальевна. – Черкесск, 2002. – 240 с. – EDN NMMBXX.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024665705 Российская Федерация. Информационная система многокритериальной оценки и ранжирования Парето-оптимальных решений на базе прямых методов SAW, TOPSIS, GDR : № 2024663713 : заявл. 14.06.2024 : опубл. 04.07.2024 / Е. В. Попова, А. Хаммуд, М. И. Попова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина». – EDN CFNMHI.

3. Попова, М. И. Декомпозиционный подход к исследованию временных рядов объемов продаж монопродуктового бизнеса сервисного типа / М. И. Попова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2024. – № 203. – С. 440-453. – EDN LMGRWV.

4. Попова, М. И. Математические методы многокритериальной оптимизации для принятия решения по отбору объектов таможенного контроля после выпуска товаров / М. И. Попова, Е. А. Таран, Н. А. Вилкова // Современная экономика: проблемы и решения. – 2024. – № 3(171). – С. 24-36. – DOI 10.17308/meps/2078-9017/2024/3/24-36. – EDN CWCCRY.

5. Моделирование риск-экстремумов методами многокритериальной оптимизации / А. М. Кумратова, Е. В. Попова, Н. В. Третьякова, М. И. Попова // Современная экономика: проблемы и решения. – 2015. – № 5(65). – С. 21-30. – EDN UMCCGH.

6. Перепелица, В. А. Фрактальный анализ поведения природных временных рядов / В. А. Перепелица, Е. В. Попова // Современные аспекты экономики. – 2002. – № 9(22). – С. 185-200. – EDN WQITPT.

7. Попова, Е. В. Становление и развитие индустрии продажи и доставки воды в России / Е. В. Попова, Д. Н. Савинская, М. И. Попова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 89. – С. 1253-1265. – EDN TJAQFP.

8. Кумратова, А. М. Экономико-математическое моделирование риска в задачах управления ресурсами здравоохранения / А. М. Кумратова, Е. В. Попова, А. З. Биджиев ; Кубанский государственный аграрный университет. – Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2014. – 168 с. – ISBN 978-5-94672-792-1. – EDN SMTWWB

9. Ларичев О. И. Наука и искусство принятия решений / О. И. Ларичев. – М.: Наука, 1979. – 200 с

10. Горпинченко, К. Н. Оценка инвестиционной привлекательности инновационных проектов в зерновом производстве / К. Н. Горпинченко, Е. В. Попова, В. И. Тинякова // Современная экономика: проблемы и решения. – 2013. – № 12(48). – С. 80-89. – EDN RYHJYN.

11. Попова, М. И. Прямые методы оценки альтернатив как инструмент формирования инвестиционного портфеля / М. И. Попова, Е. В. Попова, А. Д. Гогина, В. Д. Лукашова // Современная экономика: проблемы и решения. – 2024. – № 2(170). – С. 19-29. – DOI 10.17308/meps/2078-9017/2024/2/19-29. – EDN VHFTXU.

12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023661854 Российская Федерация. Программа оценки регионального потенциала производства зерна : № 2023660643 : заявл. 24.05.2023 : опубл. 02.06.2023 / В. В. Алещенко, Е. В. Рудой, А. М. Кумратова [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный аграрный университет». – EDN JQYVMU.

13. Зоимова Э.М. Методы анализа в концептуальной структуре DPSIR [Электронный ресурс] / Э.М. Зоимова, А.Б. Зандакова // Проблемный анализ и государственно-управленческое проектирование. – 2011. – №3. – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/metody-analiza-v-kontseptualnoy-strukture-dpsir> (дата обращения: 11.02.2025).

14. Кириллина Ю.В. Методы оценки поставщиков / Ю.В. Кириллина, Е.Н. Каратаева, Ю.Е. Шаталова // Актуальные вопросы экономических наук. – 2010. – № 14. – С. 197-201.

References

1. Popova, E. V. Matematicheskie modeli i metody` ocenki riskov social`no-e`konomicheskix processov: special`nost` 08.00.13 "Matematicheskie i instrumental`ny`e metody` e`konomiki": dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni doktora e`konomicheskix nauk / Popova Elena Vital`evna. – Cherkessk, 2002. – 240 s. – EDN NMMBXX.

2. Svidetel`stvo o gosudarstvennoj registracii programmy` dlya E`VM № 2024665705 Rossijskaya Federaciya. Informacionnaya sistema mnogokriterial`noj ocenki i ranzhirovaniya Pareto-optimal`ny`x reshenij na baze pryamy`x metodov SAW, TOPSIS, GDR : № 2024663713 : zayavl. 14.06.2024 : opubl. 04.07.2024 / E. V. Popova, A. Xammud, M. I. Popova ; zayavitel` Federal`noe gosudarstvennoe byudzhethnoe obrazovatel`noe uchrezhdenie vy`sshego obrazovaniya «Kubanskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet imeni I.T. Trubilina». – EDN CFNMHI.

3. Popova, M. I. Dekompozicionny`j podxod k issledovaniyu vremenny`x ryadov ob`emov prodazh monoproduktovogo biznesa servisnogo tipa / M. I. Popova // Politematicheskij setевой e`lektronny`j nauchny`j zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2024. – № 203. – S. 440-453. – EDN LMGRWV.

4. Popova, M. I. Matematicheskie metody` mnogokriterial`noj optimizacii dlya prinyatiya resheniya po otboru ob`ektov tamozhennogo kontrolya posle vy`puska tovarov / M. I. Popova, E. A. Taran, N. A. Vilkova // Sovremennaya e`konomika: problemy` i resheniya. – 2024. – № 3(171). – S. 24-36. – DOI 10.17308/meps/2078-9017/2024/3/24-36. – EDN CWCCRY.

5. Modelirovanie risk-e`kstremumov metodami mnogokriterial`noj optimizacii / A. M. Kumratova, E. V. Popova, N. V. Tre`yakova, M. I. Popova // Sovremennaya e`konomika: problemy` i resheniya. – 2015. – № 5(65). – S. 21-30. – EDN UMCCGH.

6. Perepelicza, V. A. Fraktal`ny`j analiz povedeniya prirodny`x vremenny`x ryadov / V. A. Perepelicza, E. V. Popova // Sovremennyy`e aspekty` e`konomiki. – 2002. – № 9(22). – S. 185-200. – EDN WQITPT.

7. Popova, E. V. Stanovlenie i razvitie industrii prodazhi i dostavki vody` v Rossii / E. V. Popova, D. N. Savinskaya, M. I. Popova // Politematicheskij setевой e`lektronny`j nauchny`j zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – № 89. – S. 1253-1265. – EDN TJAQFP.

8. Kumratova, A. M. E`konomiko-matematicheskoe modelirovanie riska v zadachax upravleniya resursami zdravooxraneniya / A. M. Kumratova, E. V. Popova, A. Z. Bidzhiev ; Kubanskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet. – Krasnodar : Kubanskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet imeni I.T. Trubilina, 2014. – 168 s. – ISBN 978-5-94672-792-1. – EDN SMTWWB

9. Larichev O. I. Nauka i iskusstvo prinyatiya reshenij / O. I. Larichev. – M.: Nauka, 1979. – 200 s

10. Gorpinchenko, K. N. Ocenka investicionnoj privlekatel`nosti innovacionny`x proektov v zernovom proizvodstve / K. N. Gorpinchenko, E. V. Popova, V. I. Tinyakova //

Sovremennaya e`konomika: problemy` i resheniya. – 2013. – № 12(48). – S. 80-89. – EDN RYHJYN.

11. Popova, M. I. Pryamy`e metody` ocenki al`ternativ kak instrument formirovaniya investicionnogo portfelya / M. I. Popova, E. V. Popova, A. D. Gogina, V. D. Lukashova // Sovremennaya e`konomika: problemy` i resheniya. – 2024. – № 2(170). – S. 19-29. – DOI 10.17308/meps/2078-9017/2024/2/19-29. – EDN BHFTXU.

12. Svidetel`stvo o gosudarstvennoj registracii programmy` dlya E`VM № 2023661854 Rossijskaya Federaciya. Programma ocenki regional`nogo potentsiala proizvodstva zerna : № 2023660643 : zayavl. 24.05.2023 : opubl. 02.06.2023 / V. V. Aleshhenko, E. V. Rudoj, A. M. Kumratova [i dr.] ; zayavitel` Federal`noe gosudarstvennoe byudzhethnoe obrazovatel`noe uchrezhdenie vy`sshego obrazovaniya «Novosibirskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet». – EDN JQYVMU.

13. Zomonova E`.M. Metody` analiza v konceptual`noj strukture DPSIR [E`lektronny`j resurs] / E`.M. Zomonova, A.B. Zandakova // Problemy` analiz i gosudarstvenno-upravlencheskoe proektirovanie. – 2011. – №3. – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/metody-analiza-v-kontseptualnoy-strukture-dpsir> (data obrashheniya: 11.02.2025).

14. Kirillina Yu.V. Metody` ocenki postavshhikov / Yu.V. Kirillina, E.N. Karataeva, Yu.E. Shatalova // Aktual`ny`e voprosy` e`konomicheskix nauk. – 2010. – № 14. – S. 197-201.