

## Разработка алгоритма и программного обеспечения для оценки альтернатив на основе метода аддитивной свертки критериев

С.В. Разумников

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета (ЮТИ ТПУ),  
652055, г. Юрга, ул. Ленинградская 26, Россия

**Резюме. Цель.** Целью исследования является разработка алгоритма и программного обеспечения для оценки альтернатив на основе метода аддитивной свертки критериев. **Метод.** Метод аддитивной свертки позволяет суммировать частные критерии с учетом их важности, формируя единое интегральное значение; алгоритм расчета, включающий последовательные шаги, нормализацию, определение весов и интеграцию полученных данных; разработанный программный продукт, выполненный на языке программирования Python с использованием библиотеки Tkinter, обеспечивающий удобное графическое представление результата. **Результат.** Представлены ключевые этапы реализации метода, включающие нормализацию критериев, определение весов важности и процедуру свертки, позволяющую объединить разнородные показатели в единый интегральный показатель. В алгоритме описаны используемые функции расчетов и приведен листинг кода. Представлен алгоритм для разработки программного обеспечения. Приведен реальный пример применения метода для оценки эффективности антигистаминных препаратов, демонстрирующий возможность выбора оптимального варианта. **Вывод.** Данная программа позволяет вести удобный и быстрый расчет интегральных показателей и находить веса критериев по матрице попарных сравнений, а также представлять результат в виде графика. Предложенный метод и разработанный программный комплекс представляют эффективное средство для специалистов, занимающихся принятием решений в ситуациях, связанных с выбором оптимальной альтернативы. Использование программного продукта существенно упрощает процессы сравнения и анализа большого количества факторов, повышая точность и объективность конечного выбора.

**Ключевые слова:** алгоритм, программа, альтернативы, критерии, аддитивная свертка, интегральная модель, оценка

**Для цитирования:** С.В. Разумников. Разработка алгоритма и программного обеспечения для оценки альтернатив на основе метода аддитивной свертки критериев. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2025;52(4):126-136. DOI:10.21822/2073-6185-2025-52-4-126-136

## Development of an Algorithm and Software for Evaluating alternatives based on the Method of additive Convolution of Criteria

S.V. Razumnikov

Yurga Technological Institute (branch) of the National Research Tomsk Polytechnic University,  
26 Leningradskaya Str., Yurga 652055, Russia

**Abstract. Objective.** The aim of the study is to develop an algorithm and software for evaluating alternatives based on the additive convolution method of criteria. **Method.** The additive convolution method allows summing up individual criteria based on their importance, forming a single integral value; the calculation algorithm includes sequential steps, normalization, determination of weights, and integration of the obtained data; the developed software product, implemented in the Python programming language using the Tkinter library, provides a convenient graphical representation of the result. **Result.** The stages of the method implementation are presented, including normalization of criteria, determination of importance weights, and the

convolution procedure that combines different indicators into an integral indicator. The algorithm describes the calculation functions and provides a code listing. An algorithm for software development is presented. An example of applying the method to assess the effectiveness of antihistamines is given. **Conclusion.** The program allows calculating integral indicators and finding criterion weights using a pairwise comparison matrix, as well as presenting the result in the form of a graph. The proposed method and the developed software package represent an effective tool for decision-making with the selection of the optimal alternative. Using the software product simplifies the process of comparing and analyzing a large number of factors, increasing the accuracy and objectivity of selection.

**Keywords:** algorithm, program, alternatives, criteria, additive convolution, integral model, evaluation

**For citation:** S.V. Razumnikov. Development of an Algorithm and Software for Evaluating alternatives based on the Method of additive Convolution of Criteria. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2025; 52(4):126-136. (In Russ) DOI:10.21822/2073-6185-2025-52-4-126-136

**Введение.** Современный мир требует от нас постоянного принятия решений в самых разнообразных областях, будь то экономика, инженерия, медицина или социальные науки. Зачастую эти решения сопровождаются необходимостью оценивать множество альтернатив, каждая из которых характеризуется набором критериев. В таких случаях традиционный подход, основанный на простом сравнении численных значений, оказывается недостаточным, так как не учитывает относительную важность критериев и взаимодействие между ними. Аддитивная свертка критериев предлагает универсальный метод, позволяющий объединить разнородные показатели в единую интегральную оценку, тем самым облегчая принятие обоснованных решений [1-3].

**Постановка задачи.** Основной целью исследования является разработка алгоритма и программного обеспечения для оценки альтернатив на основе метода аддитивной свертки критериев. Рассмотрены ключевые аспекты этого метода, включая нормализацию критериев, определение весов важности и процедуру свертки [4]. Особое внимание уделено вопросам реализации и тестирования разработанной системы, а также обсуждению примеров применения в различных практических ситуациях. Предлагаемое решение призвано стать мощным инструментом для лиц, принимающих решения, помогая им делать осознанные и обоснованные выборы среди множества вариантов.

**Методы исследования.** Аддитивная свертка значений частных критериев предполагает суммирование значений частных критериев для каждой альтернативы. Этот метод применяется, когда критерии не зависят друг от друга и могут быть измерены в одних и тех же единицах. Каждый критерий имеет свой вес, который отражает его важность. Преимущества аддитивной свертки включают простоту расчетов и понимание результатов. Однако, недостатком этого метода является то, что он не учитывает возможные взаимодействия между критериями [5].

Аддитивная свертка значений частных критериев – это методология, которая используется для объединения нескольких критериев или параметров в одно общее значение. При этом каждый критерий имеет определенную важность или вес, который учитывается при их суммировании. Такой подход позволяет учитывать различные аспекты при принятии решений и оценке различных альтернатив [6].

Процесс аддитивной свертки значений частных критериев обычно включает в себя несколько этапов: определение критериев, их взвешивание, оценку альтернатив по каждому критерию, суммирование результатов и выбор наилучшей альтернативы. Этот метод часто используется в принятии решений в условиях неопределенности или при наличии множества критериев, которые нужно учитывать одновременно. Он помогает структурировать процесс принятия решения и обеспечивает более объективную оценку возможных вариантов действий. Для того чтобы рассчитать свертку, необходимо провести следующие шаги [7, 8]:

1. Определить измеряемый объект или характеристику, для которой проводится сравнение результатов измерений.
2. Провести измерения или оценку альтернатив по выбранной шкале.
3. Рассчитать разность между результатами измерений каждого метода для каждого объекта или характеристики.
4. Проанализировать полученные разности и определить степень их согласованности.
5. Для расчёта аддитивной свертки можно использовать различные статистические методы, такие как коэффициент корреляции, среднеквадратичное отклонение, среднее значение разностей и т. д.

Таким образом, аддитивная свертка позволяет оценить согласованность результатов измерений различных методов и принять обоснованное решение об их использовании для конкретной задачи или цели, позволяет проводить более глубокий анализ данных и делать выводы о связях между переменными или их изменчивости. Определение наилучшей альтернативы вычисляется по формуле (1) [9]:

$$q_i = \sum_{j=1}^m v_j q_{ij} \quad (1)$$

$q_i$  – интегральная оценка  $i$ -го объекта,  
 $q_{ij}$  – оценка  $i$ -го объекта по  $j$ -тому частному критерию,  
 $v_j$  – вес  $j$ -го критерия.

Интегральная оценка  $i$ -го объекта – это процесс, при котором все характеристики и параметры данного объекта учитываются и вычисляются для получения комплексного представления о его качестве и ценности. Для его нахождения проводится анализ всех доступных данных, оцениваются все аспекты объекта, включая его основные характеристики, состояние, возможности для оптимизации и дальнейшего развития. Интегральная оценка позволяет сделать выводы о том, насколько объект соответствует заявленным требованиям и ожиданиям, а также определить потенциал для его улучшения [10-14].

Проанализировав рынок антигистаминных препаратов (АГП), возьмем восемь препаратов различного поколения (первого, второго и третьего). Это димедрол, тавегил, диазолин, супрастин, лоратадин, цетиризин, дезлоратадин, левоцетиризин. Для данных препаратов определены критерии, выберем из них 5 наиболее важных. Это длительность действия в часах, время наступления эффекта в минутах, противогистаминная активность в баллах, объединим влияние на центральную нервную систему, желудочно-кишечный тракт (ЖКТ) и сердечно сосудистую систему (ССС), полученные в результате клинических испытаний, в один критерий и последний критерий – это цена в рублях.

В табл.1 указаны выбранные препараты и критерии, соответствующие им в соответствии с инструкциями для применения препаратов. Данное решение в этом методе принимает ЛПР – лицо принимающее решение, определяет степень важности критериев.

**Таблица 1. Основные показатели существенных признаков альтернатив**  
**Table 1. Key indicators of essential features of alternatives**

Фармакологические свойства (критерии) Pharmacological Properties (criteria)	Препараты /drugs							
	Димедрол (П1) Diphenhydramine	Тавегил (П2) Tavegil	Диазолин (П3) Diazolin	Супрастин (П4) Suprastin	Лоратадин (П5) Loratadine	Цетиризин (П6) Cetirizine	Дезлоратадин (П7) Desloratadine	Левоцетиризин (П8) Levocetirizine
Поколение	1-е	1-е	1-е	1-е	2-е	2-е	3-е	3-е
Длительность действия в часах	4-6	8-12	24-48	6-8	24	24	24	24
Время наступления эффекта, мин	15-30	20-30	15-30	15-30	30	10	20-30	12
Противогистаминная активность	++	+++	++	+++	++	++	+++	+++
Влияние на центральную нервную систему	Седативное. Снотворное	Умеренно выраженное седативное	Выраженное седативное	Незначительное седативное	Незначительное седативное	Незначительное седативное	Не вызывает седативного эффекта	Не вызывает седативного эффекта
Влияние на ЖКТ	Головокружение, сонливость, торможение психической активности, снижение работоспособности, внимания, оказывает влияние на вождение автомобиля				Не влияют на нервную систему. Не вызывают сонливости			
Влияние на СССР	Значительное				Незначительное			
Цена, руб.	35	289	78	120	53	92	182	568

Для АГП главным является скорость наступления лечебного эффекта, так как это жизненно важно для пациента и порой спасает ему жизнь. Вторым по важности является противогистаминная активность, так как это определяет эффективность препарата. Третьим критерием по важности – длительность действия. От этого зависит интервал приема лекарства пациентом. Четвёртый критерий – побочные действия, которые может вызывать прием препаратов. И последний критерий – цена препаратов.

Составим матрицу попарных сравнений. Матрица попарных сравнений – это инструмент анализа, который используется для определения относительной важности или предпочтения различных элементов в сравнении друг с другом. В рамках этого метода каждый элемент сравнивается с каждым другим элементом, и полученные результаты вносятся в матрицу для последующего анализа. Таким образом, матрица попарных сравнений позволяет структурировать и систематизировать информацию о предпочтениях или важности элементов, что помогает принимать обоснованные решения на основе этих данных. В табл. 2 представлена относительная важность для оценивания по критериям.

**Таблица 2. Шкала относительной важности**  
**Table 2. Relative importance scale**

Уровень важности Level of importance	Количественное значение Quantitative value
Равная важность Equal importance	1
Умеренное превосходство Moderate superiority	3
Существенное или сильное превосходство Substantial or strong superiority	5
Значительное (большое) превосходство Considerable (major) superiority	7
Очень большое превосходство Very great superiority	9

Метод вычисления весомости каждого критерия, используя метод попарного сравнения, является основным для определения сравнительной значимости, представляет собой процедуру установления предпочтения объектов при сравнении всех возможных пар.

**Таблица 3. Матрица парных сравнений**  
**Table 3. Pairwise comparison matrix**

Критерий Criterion	K1	K2	K3	K4	K5	Среднее геометрическое Geometric mean	Вес критерия Weight of the criterion
K1	1	3	5	7	9	3,94	0,51
K2	0,33	1	3	5	7	2,04	0,26
K3	0,20	0,33	1	3	5	1,00	0,13
K4	0,14	0,20	0,33	1	3	0,49	0,06
K5	0,11	0,14	0,20	0,33	1	0,25	0,03
					Сумма	7,72	1

Результаты сравнения всех пар объектов удобно представлять в виде матрицы. Матрицу составим в виде табл.3. Попарно сравниваем критерии. Если критерии равнозначные, в таблицу ставим 1. Если критерии неравнозначные, ставим значение исходя из таблицы 2, включая промежуточные значения. Баллы в столбце, которые находятся ниже главной диагонали находим как обратные значения, которые располагаются над главной диагональю, то есть значение в первом столбце для  $K2=1/3=0,33$  и т. д. Затем находим среднее геометрическое и весомость каждого критерия, разделив среднее геометрическое на сумму средних геометрических. Сумма коэффициентов весомости равна единице, значит расчет правильный.

1. Переводим исходные значения разных показателей в единую шкалу количественных оценок (от «плохо» до «отлично», от 1 до 10) экспертным оцениванием.
2. По каждому критерию оцениваем альтернативы и назначаем определенный балл (нормированные значения).

3. Рассчитываем  $q_i$  и выбираем лучшую альтернативу.

В табл. 4 представлена итоговые значения балльных оценок с рассчитанным интегральным показателем. Используя метод аддитивной свертки значений частных критериев. По выбранным критериям, наибольшую интегральную оценку получил препарат третьего поколения левоцитиризин, обладающий высокой противогистаминной активностью и наименьшими побочными действиями, что важно для людей, страдающих аллергией.

**Таблица 4. Итоговая таблица балльных оценок**

**Table 4. Final score table**

Критерий Criterion		Вес	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8
Длительность действия Duration of action	K4	0,06	2	4	9	4	9	9	9	9
Время наступления эффекта Time of onset of effect	K1	0,51	8	6	8	8	6	9	6	9
Противогистаминная активность Antihistamine activity	K2	0,26	6	8	6	8	6	6	8	8
Влияние на центральную нервную систему, ЖКТ и ССС Effect on the central nervous system, gastrointestinal tract, and cardiovascular system	K3	0,13	2	6	4	4	8	8	8	9
Цена Price	K5	0,03	9	4	8	6	10	8	6	2
Интегральная оценка Integral assessment			6,29	6,28	6,94	7,10	6,47	7,97	6,90	8,44

Основные переменные, использованные в программе, представлены в табл. 5. К основным функциям, которые реализованы в программе, относятся:

def fill\_lower\_triangle() – функция, рассчитывающая число обратное балльной оценки и заполняющая нижний треугольник матрицы.

def calculate\_geometric\_mean() – функция, рассчитывающая вес критерия.

def instact() – функция, создающая инструкцию.

def generate\_table(tab\_frame, entry) – функция, создающая первую таблицу.

def calculate\_otn() – функция расчет интегральной оценки.

def create\_new\_tab() – функция, создающая новую таблицу.

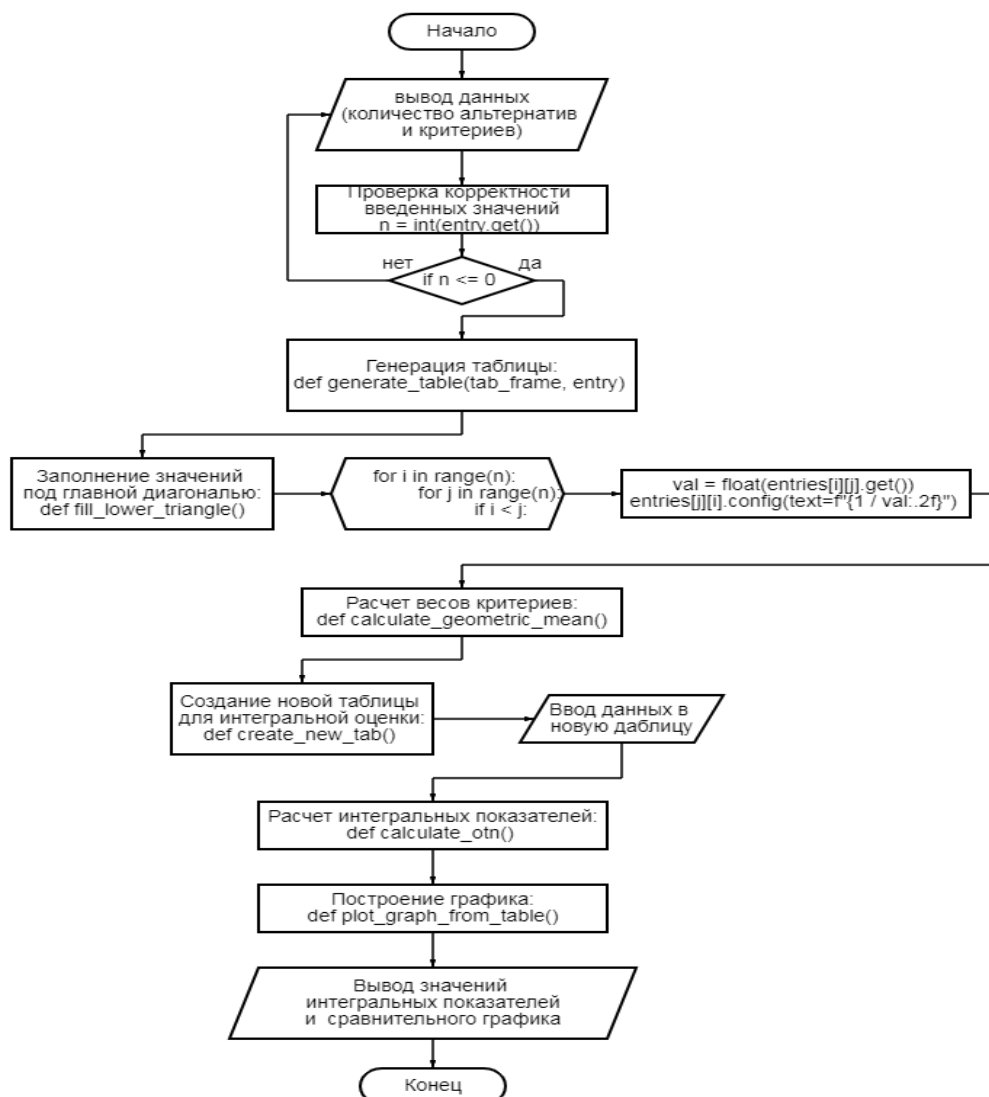
def plot\_graph\_from\_table() – функция, отвечающая за создание графика на основании таблицы.

**Таблица 5. Основные переменные программы**

**Table 5. Main program variables**

Имя переменной Variable Name	Описание Description
root	переменная, которая связана с корневым окном высшего уровня, используется для создания главного окна/ a variable that is associated with the top-level root window, used to create the main window
n	переменная, отвечающая за размер матрицы/ variable responsible for the size of the matrix
val	балльная оценка/ score
column_label	переменная, содержащая заголовки столбцов/ variable containing column headings
row_label	переменная, содержащая заголовки строк/ variable containing row headings
total_sum	сумма средних геометрических/ sum of geometric means
avg_labels	среднее геометрическое/ geometric mean
ratio	вес критерия/ criterion weight
sum_ratio_label	сумма весов критериев/ sum of criterion weights
y	переменные по оси OY, соответствующие значениям из таблицы Variables on the OY axis corresponding to the values from the table
x	переменные по оси OX, соответствующие номеру альтернативы/ Variables on the X axis corresponding to the alternative number
value	интегральная оценка/ Integrated assessment

На рис. 1 представлен алгоритм для оценки альтернатив на основе метода аддитивной свертки критериев.



**Рис. 1 – Алгоритм для оценки альтернатив на основе метода аддитивной свертки критериев**  
**Fig. 1 – Algorithm for evaluating alternatives based on the additive convolution method of criteria**

**Обсуждение результатов.** На основании расчетов создадим универсальную программу для вычисления интегральной оценки частных критериев для любых критериев и альтернатив на языке Python, используя Tkinter – встроенную в стандартный пакет Python кроссплатформенную библиотеку [15-17]. Готовая программа имеет главное диалоговое окно, в котором есть набор кнопок, с помощью которых открываются дополнительные окна, содержащие таблицы для расчетов интегральных показателей и веса критериев в матрице попарных сравнений.

При запуске программы появляется главное окно, предлагающее выбрать количество заданных критериев. После внесения числа, соответствующего количеству критериев, необходимо будет нажать кнопку «Создать новую вкладку», откроется новая вкладка с таблицей, в которой необходимо заполнить матрицу попарных сравнений, затем нажать кнопку «Расчитать вес критерия». Далее необходимо выбрать количество альтернатив и нажать кнопку «Создать новую вкладку». Откроется новая вкладка с таблицей, в которой необходимо заполнить экспертные балльные оценки. После внесения данных необходимо нажать кнопку «Расчет интегральной оценки», после чего заполнится итоговая таблица. Последняя вкладка содержит график зависимости интегральной оценки от альтернативы. Обозначим  $\Pi$  – это альтернатива,  $K$  – критерий.

При написании программы был разработан алгоритм, создан макет главного окна программы, продуман удобный графический пользовательский интерфейс, прописаны функции. К важным функциям, реализующим работу в программе, можно отнести:

### 1. Функция `calculate_otn` выполняет следующие действия:

- Инициализирует сумму `summ` равной нулю.
- Перебирает каждую строку таблицы (альтернативы).
- Внутри каждой строки, для каждого столбца, считывает значения из таблицы `entries` и умножает их на соответствующие веса критериев из списка `ratios`.
- Суммирует полученные произведения и сохраняет результат в переменной `summ`.
- Обновляет соответствующий элемент в списке `results` новым значением `summ`, форматированным до двух знаков после запятой.
- Если встречается ошибка типа `ValueError` (например, если поле не является числом), отображает сообщение об ошибке.

Цель функции – рассчитать интегральные оценки для каждой альтернативы на основе введённых данных и весов критериев. Код для этой функции:

```
def calculate_otn():
    try:
        print(n, len(ratios), column_first_table)
        for i in range(n):
            summ = 0
            for j in range(column_first_table):
                value = int(entries[j][i].get())
                summ += value * round(ratios[j], 2)
            results[i].config(text=f"{summ:.2f}")
    except ValueError:
        messagebox.showerror("Ошибка",
            "Некорректное значение в таблице. Убедитесь, что все поля заполнены числами.")
```

### 2. Функция `plot_graph_from_table` выполняет следующие действия:

- Собирает данные из таблицы в список `data`.
- Создает массив `x` для оси `X` и массив `y` для оси `Y` на основе данных из таблицы.
- Строит график с маркерами, где ось `X` представляет номер альтернативы, а ось `Y` – интегральную оценку.
- Настраивает заголовок, подписи осей и добавляет легенду.
- Рисует график и вставляет его в интерфейс с помощью `FigureCanvasTkAgg`.

Кнопка «Создать график» вызывает эту функцию для визуализации данных после их расчёта. Код для этой функции:

```
def plot_graph_from_table():
    try:
        data = []
        for i in results:
            data.append(float(i.cget('text')))
        x = list(range(1, len(data) + 1))
        y = [float(value) for value in data]
        # y = [float(results) for results in data] # Значения из таблицы как ось Y
        fig, ax = plt.subplots(figsize=(5, 4))
        ax.plot(x, y, marker='o', label="Интегральная оценка")
        ax.set_title("График выбора альтернатив")
        ax.set_xlabel("Альтернативы")
        ax.set_ylabel("Интегральная оценка")
        ax.legend()
        canvas = FigureCanvasTkAgg(fig, master=root)
        canvas.draw()
        canvas.get_tk_widget().pack(side=tk.TOP, fill=tk.BOTH, expand=1, padx=10, pady=10)
    except ValueError:
        messagebox.showerror("Ошибка", "Некорректные данные для построения графика.")
    calculate_button = tk.Button(tab_frame, text="Расчёт интегральной оценки", command=calculate_otn,
        bg='#7CFC00', fg='#191970')
    calculate_button.grid(row=column_first_table + 4, column=n // 6, columnspan=n+1, pady=5)
    btn_graph = tk.Button(tab_frame, text="Создать график", command=plot_graph_from_table, bg='lightcyan',
        fg='#191970')
    btn_graph.grid(row=column_first_table + 5, column=n // 5, columnspan=n+1, pady=5)
    # btn_load = tk.Button(root, text="Инструкция", command=instact, bg='#7CFC00', fg='#191970', width=10)
    # btn_load.pack(side=tk.LEFT, padx=10, pady=10)
```

При запуске программы перед пользователем появляется главное окно «Расчет интегрального показателя». В окне вводится число, соответствующее количеству критериев. Далее нажимается кнопка «Создать новую вкладку» и появляется окно (рис. 2). Это матрица попарных сравнений. Необходимо заполнить верхний треугольник табл. на рис. 2.

	K1	K2	K3	K4	K5	Средн.	Вес критерия
K1	1	3	5	7	9	3.94	0.51
K2	0.33	1	3	5	7	2.03	0.26
K3	0.20	0.33	1	3	5	1.00	0.13
K4	0.14	0.20	0.33	1	3	0.49	0.06
K5	0.11	0.14	0.20	0.33	1	0.25	0.03
Сумма						7.71	1.00

**Рис. 2 – Расчёт весов критериев**  
**Fig. 2 – Calculation of criteria weights**

Нижний треугольник таблицы заполнится автоматически после нажатия на кнопку «Заполнить нижний треугольник». Нажать на кнопку «Расчитать вес критерия». После этого заполнятся столбцы «Средн.» – это среднее геометрическое и «Вес критерия». Чтобы появилась шкала относительной важности, необходимо нажать на кнопку «Инструкция» (рис. 3).

Уровень важности	Количественное значение
Равная важность	1
Умеренное превосходство	3
Существенное превосходство	5
Значительное превосходство	7
Очень большое превосходство	9

Значения 2, 4, 6, 8 - являются промежуточными

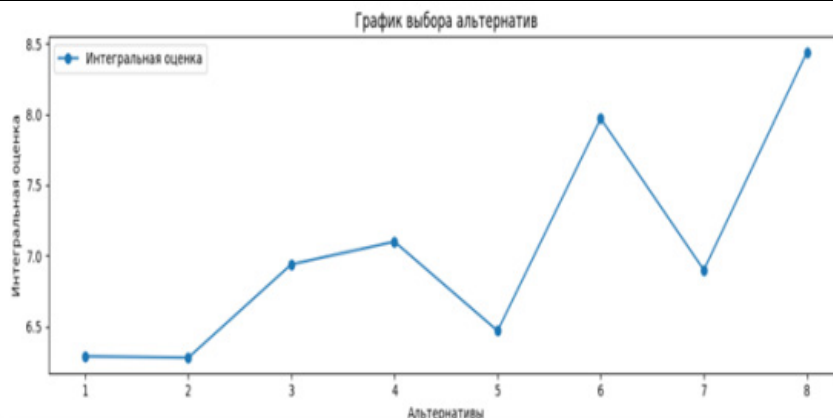
**Рис. 3 – Инструкция «Шкала относительной важности»**  
**Fig. 3 – Instruction "Relative Importance Scale"**

В окне необходимо ввести число, соответствующее количеству альтернатив. Нажав на кнопку «Создать новую вкладку», появится окно (рис. 4, таблица с экспертными оценками). Заполняется таблица в соответствии с экспертной оценкой. Числа должны быть целые, положительные, соответствовать Шкале относительной важности. Далее нажимается кнопка «Расчет интегральной оценки», после чего выполнится расчет интегральной оценки.

	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	Вес критерия
K1	8	6	8	6	6	9	6	9	0.51
K2	6	8	6	8	6	6	8	8	0.26
K3	2	6	4	4	8	8	8	9	0.13
K4	2	4	9	4	9	9	9	9	0.06
K5	9	4	8	6	9	8	6	9	0.03
Сумма	6.29	6.28	6.94	6.08	6.47	7.97	6.90	8.44	

**Рис. 4 – Расчёт интегральной оценки**  
**Fig. 4 – Calculation of the integral assessment**

После завершения всех расчетов необходимо нажать кнопку «Создать график» (рис. 5). В окне появится график.



**Рис. 5 – График выбора альтернатив**  
**Fig. 5 – Graph of alternative selection**

Разработанная программа выполняет следующие функции:

1. Учет исходных данных для проведения оценки.
2. Расчет весов критериев методом попарных сравнений.
3. Расчет интегрального показателя для альтернативы на основе метода аддитивной свертки.
4. Построение графика по интегральной оценке.

**Вывод.** В статье представлен разработанный алгоритм и программное обеспечение для оценки альтернатив на основе метода аддитивной свертки критериев. Рассмотрены основные этапы нормализации критериев, определения весов важности и процедуры свертки, что позволило объединить разнородные показатели в единую интегральную оценку.

Реализация и тестирование показали, что предложенный метод эффективен и надежен, обеспечивая точность и прозрачность процесса принятия решений. Данный подход может успешно использоваться в различных областях, таких как экономика, инженерия и социальные науки, помогая лицам, принимающим решения, выбирать наилучшую альтернативу среди множества вариантов.

Внедрение разработанного программного обеспечения открывает новые перспективы для автоматизации и стандартизации процессов оценки и принятия решений, что особенно актуально в условиях растущей сложности и многообразия современных задач.

#### Библиографический список:

1. Аристова Е.М. Установление взаимосвязи между методами аддитивной свертки и метрики // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2017. – Т. 44. – №. 2. – С. 107-117.
2. Васильев В.П., Мельник А.О. Решение многокритериальных задач принятия решения посредством смешанной свертки критериев // Современные инновационные технологии и проблемы устойчивого развития общества. – 2018. – С. 163-168.
3. Логанина В.И. Оценка производства модифицированных сухих строительных смесей: применение метода аддитивной свертки / В. И. Логанина, Е. И. Куимова, Т. В. Учаева // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №. 4. – С. 171-176.
4. Осипов Г.С. Многокритериальный выбор альтернатив методом свертки нечетких чисел / Г.С. Осипов, Н.С. Вашакидзе, Г.В. Филиппова // Ceteris Paribus. – 2016. – №. 3. – С. 19-22.
5. Першин Д.А., Чигарев А.Ю. Построение аддитивной функции свертки критериев для выбора альтернативного варианта // Фундаментальные и прикладные исследования молодых учёных. – 2023. – С. 600-604.
6. Каралиев Р.С. Метод экспертных оценок для многокритериальной задачи принятия решений с применением аддитивной свертки и нестрого ранжирования критериев / Р.С. Каралиев, В. Лим, В.А. Субботин // (ППП НРК). – 2017.
7. Разумников С.В. Планирование развития облачной стратегии на основе применения многокритериальной оптимизации и метода STEM // Доклады томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2020. – Т. 23, № 1. – С. 53-61.
8. Разумников С.В. Некомпенсаторное агрегирование и рейтингование провайдеров облачных услуг // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2018. – Т. 21, № 4. – С. 63-69.

9. Силич В.А., Силич М.П. Теория систем и системный анализ: Учебное пособие. – Томск: изд. ТПУ, 2010. – 97 с.
10. Стародубов А.В. Разработка инструментального средства и нечетких моделей для многокритериального выбора рациональных инвестиционных решений: дис. –, 2007.–24 с, 2007.
11. Талипов Н.Г., Катасёв А.С. Математическое и программное обеспечение для распределения заданий в автоматизированных системах электронного документооборота. – 2017.
12. Малышев И.А. Разработка интеллектуальной системы поддержки принятия экономических решений на основе методов теорий нечетких множеств //URL: <https://www.dissercat.com/content/razrabotka-intellektualnoi-sistemy-podderzhki-prinyatiya-ekonomicheskikh-reshenii-na-osnove-> (дата обращения 18.08.2022). – 2006.
13. Талипов Н.Г. Методы многокритериального принятия решений по распределению заданий в автоматизированной системе электронного документооборота территориального органа Роскомнадзора / Н.Г. Талипов, А.С. Катасёв, А.П. Кирпичников // Вестник Казанского технологического университета. – 2016. – Т. 19. – №. 12. – С. 147-152.
14. Беляева М.А. Разработка интегрированной системы поддержки принятия решений по управлению проектами в условиях неопределенности / М.А. Беляева, О.В. Буреш, Т.Н. Шаталова // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2011. – №. 13 (132). – С. 43-48.
15. Разумников С.В. Разработка программного обеспечения для построения агрегированных рейтингов на основе метода порогового агрегирования // Вестник воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2021. № 2. с. 138-152.
16. Разумников С.В. Модели, алгоритмы и программное обеспечение поддержки принятия стратегических решений к переходу на облачные технологии: монография / С.В. Разумников // Изд-во Томского политехнического университета. - 2020. - 176 с.
17. Разумников С.В. Алгоритм для определения степени уязвимости участков облачных вычислений на основе метода ELECTRE I // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(4):130-143. <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2024-51-4-130-143>.

#### References:

1. Aristova E.M. Establishing the relationship between the methods of additive convolution and metrics. *Herald of the Dagestan State Technical University. Technical sciences.* 2017; 44 (2):107-117. (In Russ)
2. Vasiliev V.P., Melnik A.O. Solving multicriteria decision-making problems by means of mixed convolution of criteria. *Modern innovative technologies and problems of sustainable development of society.* 2018:163-168. (In Russ)
3. Loganina V.I. Evaluation of the production of modified dry building mixes: application of the additive convolution method / V.I. Loganina, E.I. Kuimova, T.V. Uchaeva. *Regional architecture and construction.* 2014; 4:171-176. (In Russ)
4. Osipov G.S. Multi-criteria selection of alternatives by the method of convolution of fuzzy numbers / G.S. Osipov, N.S. Vashakidze, G.V. Filippova. *Ceteris Paribus.* 2016; 3:19-22. (In Russ)
5. Pershin D.A., Chigarev A.Yu. Construction of an additive function of convolution of criteria for selecting an alternative. *Fundamental and applied research of young scientists.* 2023: 600-604. (In Russ)
6. Karaliev R.S. Method of expert assessments for a multi-criteria decision-making problem using additive convolution and non-strict ranking of criteria / R.S. Karaliev, V. Lim, V.A. Subbotin // (PPP NRK). – 2017. (In Russ)
7. Razumnikov S.V. Cloud Strategy Development Planning Based on Multicriteria Optimization and the STEM Method. *Reports of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics.* 2020; 23(1): 53–61. (In Russ)
8. Razumnikov S.V. Non-compensatory Aggregation and Rating of Cloud Service Providers. *Reports of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics.* 2018;21(4): 63–69. (In Russ)
9. Silich V.A., Silich M.P. Systems Theory and Systems Analysis: A Tutorial. – Tomsk: TPU Publishing House, 2010. – 97 p. (In Russ)
10. Starodubov A.V. Development of a tool and fuzzy models for multi-criteria selection of rational investment decisions: diss. 200:74 p. (In Russ)
11. Talipov N.G., Katasev A.S. Mathematical and software for distributing tasks in automated electronic document management systems. – 2017. (In Russ)
12. Malyshev I.A. Development of an intelligent system for supporting economic decision-making based on fuzzy set theory methods //URL: <https://www.dissercat.com/content/razrabotka-intellektualnoi-sistemy-podderzhki-prinyatiya-ekonomicheskikh-reshenii-na-osnove->(accessed 18.08.2022). – 2006. (In Russ)
13. Talipov N.G. Methods of multi-criteria decision-making on task distribution in the automated electronic document management system of the territorial body of Roskomnadzor / N.G. Talipov, A.S. Katasev, A.P. Kirpichnikov. *Bulletin of Kazan Technological University.* 2016; 19(12):147-152.

14. Belyaeva M.A. Development of an integrated decision support system for project management under uncertainty / M.A. Belyaeva, O.V. Buresh, T.N. Shatalova. *Bulletin of Orenburg State University*. – 2011;13 (132): 43-48. (In Russ)
15. Razumnikov S.V. Development of Software for Constructing Aggregated Ratings Based on the Threshold Aggregation Method. *Bulletin of Voronezh State University. Series: Systems Analysis and Information Technology*. 2021; 2:138-152. (In Russ)
16. Razumnikov S.V. Models, Algorithms, and Software for Supporting Strategic Decision-Making on the Transition to Cloud Technologies: Monograph. *Publishing house of Tomsk Polytechnic University*. - 2020. - 176 p. (In Russ)
17. Razumnikov S.V. Algorithm for Determining the Degree of Vulnerability of Cloud Computing Areas Based on the ELECTRE I Method. *Herald of Dagestan State Technical University. Technical sciences*. 2024; 51(4):130-143. <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2024-51-4-130-143>. (In Russ)

**Сведения об авторе:**

Разумников Сергей Викторович, кандидат технических наук, доцент, отделение цифровых технологий и безопасности; [razumnikov@tpu.ru](mailto:razumnikov@tpu.ru); ORCID 0000-0002-1417-498X

**Information about the author:**

Sergei V. Razumnikov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department of Digital Technologies and Security; [razumnikov@tpu.ru](mailto:razumnikov@tpu.ru); ORCID 0000-0002-1417-498X

**Конфликт интересов/Conflict of interest.**

**Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов/The author declare no conflict of interest.**

**Поступила в редакцию/ Received 17.08.2025.**

**Одобрена после рецензирования/Revised 30. 09.2025.**

**Принята в печать /Accepted for publication 14.11.2025.**