

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра дифференциальных уравнений и математической экономики

**Интегральный рейтинг регионов России по уровню экологической
безопасности на основе программных средств**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 2 курса 248 группы

направления - **09.04.03 Прикладная информатика**

механико-математического факультета

Маслова Ивана Андреевича

Научный руководитель
доцент, к.ф.-м.н., доцент

И.Ю.Выгодчикова

Заведующий кафедрой:
зав.кафедрой, д.ф.-м.н., доцент

В.С.Рыхлов

Саратов 2026

Введение. В российской и зарубежной практике экологического анализа данных часто применяются методики, основанные на процедуре сбора всех возможных данных с их последующей фильтрацией. Для устранения проблем приходится прибегать к методу главных компонент, чтобы исключить несущественные показатели из модели, что является отдельной и весьма трудоемкой задачей.

Актуальность разработки специализированного программного обеспечения для многокритериального ранжирования регионов обусловлена несколькими факторами. Во-первых, традиционные подходы, основанные на единственном агрегированном индексе, часто искажают реальную картину, маскируя критические дисбалансы по отдельным показателям. Во-вторых, существующие коммерческие аналитические платформы либо недоступны для широкого круга специалистов органов власти и научных учреждений, либо не предоставляют гибкости в выборе методологии ранжирования. В-третьих, отсутствие инструментов для визуального сопоставления результатов, полученных разными методами, затрудняет интерпретацию данных

Целью работы является разработка прототипа программного приложения для построения интегрального рейтинга регионов России по уровню экологической безопасности на основе методики группировки и иерархического анализа экологических показателей.

В качестве объекта фокусировки будет использована классические области статистики и математики, в которой ранжирование играет не последнюю роль, и часто становится решающим фактором определяющим результат.

В связи с поставленной целью необходимо решить следующие **задачи**:

- 1 Провести сравнительный анализ существующих методик ранжирования, выявить их ключевые особенности и обосновать

выбор оптимального подхода для оценки уровней экологической безопасности регионов.

- 2 Найти подходящие источники информации, определить необходимые показатели и сформировать набор данных для разработки и тестирования приложения.
- 3 Осуществить сбор, структурирование и нормализацию исходных показателей.
- 4 Настроить программную среду, подключить необходимые библиотеки, разработать пошаговый алгоритм работы системы и спроектировать программную архитектуру.
- 5 Реализовать программный код прототипа, обеспечив автоматизированное применение выбранных математических моделей ранжирования.

Объектом исследования являются показателя экологической безопасности российских регионов и возможность их агрегирования в интегральный индекс с использованием компьютерных технологий и математических методов.

Предметом исследования являются методики и алгоритмы интегрального ранжирования для построения интегральных рейтингов регионов, а также программная реализация прототипа приложения для автоматизации данного процесса.

Научная новизна данной работы заключается в создании нового подхода к многокритериальному ранжированию регионов по уровню экологической безопасности и его программной реализации, разработанного приложения в соответствии с архитектурой MVC. Программа автоматизирует полный цикл анализа: от импорта и редактирования данных до расчета рейтингов с использованием различных методов, их визуального сравнения и проверки согласованности результатов с помощью коэффициентов Спирмена и Кендалла. Благодаря

интуитивно понятному интерфейсу сложные математические процедуры становятся доступными для практического использования. Приложение обеспечивает воспроизводимые расчеты, гибкую настройку критериев без программирования и визуальную интерпретацию данных.

Основное содержание работы. В первой части “Понятие и основные методы ранжирования объектов” рассматривается понятие методики ранжирования, к каким объектам она применяется, какие есть ограничения, и основные приведены алгоритмы основных методов.

Ранжирование является процессом сортировки группы элементов по соображениям релевантности. Принято подразумевать под релевантностью отношение по рангу между объектами.

Чаще всего ранжирование – это процедура упорядочения любых объектов по возрастанию или убыванию одного из их свойства при условии, что это свойство имеется у объекта.

Под объектами ранжирования подразумевают объекты, перед которыми стоит задача упорядочивания. Эти объекты могут обладать совершенно разными свойствами.

Основание ранжирования – это свойство, по которому объекты упорядочиваются. Результатом процесса упорядочения объектов является ранжированный ряд, в котором каждому объекту приписывается ранг, он же место в этом ряду.

Число мест и, соответственно, число рангов равно числу объектов.

Задача ранжирования сегодня очень востребована: сортировка веб-страниц согласно заданному поисковому запросу, персонализация новостной ленты, рекомендации видео, товаров, музыки, подсчет голосов в опросе и т. д. Существуют специальное направление в машинном обучении, которое занимается изучением алгоритмов ранжирования способных самообучаться – обучение ранжированию.

Наиболее подходящие по описанию алгоритмы:

- Суммирование и нормализация
- Метод суммы мест
- Метод Борда
- Метод интегрального ранжирования

Метод Борда

Этот метод был предложен в 1770 году Жан-Шарлем де Борда, где каждому кандидату начисляются баллы за место в рейтинге предпочтений каждого избирателя. Чтобы применить алгоритм, сначала необходимо определить, сколько кандидатов и избирателей, а затем присвойте баллы за каждое место в рейтинге, начиная с наибольшего количества баллов за первое место. Наконец, подсчитываем общее количество баллов для каждого кандидата, чтобы определить победителя.

Алгоритм по шагам:

Шаг 1. Определение количества кандидатов. Необходимо узнать количество кандидатов, которые участвуют в голосовании.

Шаг 2. Присвоение баллов:

- Самый высокий балл (например, n , где n — количество кандидатов) присваивается кандидату, занявшему первое место в рейтинге.
- На один балл меньше присваивается кандидату, занявшему второе место.
- Присваиваем баллы так до последнего места.
- Минимальный балл 0 присваивается кандидату на последнем месте.

Шаг 3. Подсчет количества баллов для каждого кандидата.

Суммируем все баллы, полученные каждым кандидатом от каждого избирателя.

Шаг 4. Определение победителя

Кандидат с наибольшим общим количеством баллов объявляется победителем.

Метод интегрального ранжирования

Методика интегрального ранжирования – это методика, которая подразумевает проведение ранжирования, основанного на наборе нескольких основных показателей и применению интегральной группировке с использованием количественного подхода в нечёткой логике.

Выбор показателей

Рассмотрим n -ое количество объектов необходимых для ранжирования.

Первый показатель А. Это доля не обезвреженных выбросов загрязняющих веществ. Обозначим значение данного показателя для i -го региона, как a_i , $i=1, \dots, n$. Значение показателя приводится в процентах. По методике показатель занимает второе место по степени важности.

Второй показатель В. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, отходящих от передвижных и стационарных источников. Обозначим значение данного показателя для i -го региона, как b_i , $i=1, \dots, n$. Показатель является крайне важным, так как показывает объем загрязнений при этом игнорируя различия регионов по площади и количеству жителей.

Третий показатель С. Сброс сточных вод в поверхностные водные объекты в процентах к общему объёму сброса. Обозначим значение данного показателя для i -го региона, как c_i , $i=1, \dots, n$. Значение показателя приводится в процентах. По методике показатель является самым значимым и приоритетным.

Во второй части “Вычислительный эксперимент для построения рейтингов регионов Приволжского округа по уровню экологической безопасности” проводится вычислительный эксперимент у двух методов: интегрального ранжирования и метода борда, по ранжированию Приволжских регионов Российской Федерации по уровню экологической безопасности с целью выявления наиболее подходящей для экологической сферы методики.

Проведем вычислительный эксперимент для регионов Приволжского федерального округа с использованием метода интегрального ранжирования. Выпишем показатели выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, долю обезвреженных выбросов загрязняющих веществ, сброс сточных вод в поверхностные водные объекты и проведем форматирование данных показателей для их использования в методике.

По результатам построения рейтинга регионов по экологическому уровню безопасности по методу Борда, получаем такие самые благоприятные районы: Республика Мордовия, Пензенская область, Республика Марий Эл, Оренбургская область.

Самым грязным (неблагоприятным) регионом по данному рейтингу считается Республика Башкортостан.

Среди регионов Приволжского федерального округа, Республика Мордовия, Нижегородская область, Саратовская область, Пермский край и Оренбургская область. Самым неблагоприятным регионом оказывается Самарская область.

Проведем корреляцию между результатами у метода Борда и метода интегрального ранжирования и наглядно сравним их (табл. 1) и рисунок 1:

Таблица 1– Корреляция результатов

Регионы	Метод Борда	Метод интегрального ранжирования	Корреляция
Республика Башкортостан	14	10	0,7232020956
Республика Марий Эл	3	6	
Республика Мордовия	1	1	
Республика Татарстан	11	9	
Удмуртская Республика	12	10	
Чувашская Республика	9	11	
Пермский край	7	4	
Кировская область	13	12	
Нижегородская область	6	2	

Оренбургская область	4	5	
Пензенская область	2	8	
Самарская область	13	14	
Саратовская область	8	3	
Ульяновская область	5	7	

Метод Борда и Метод интегрального ранжирования

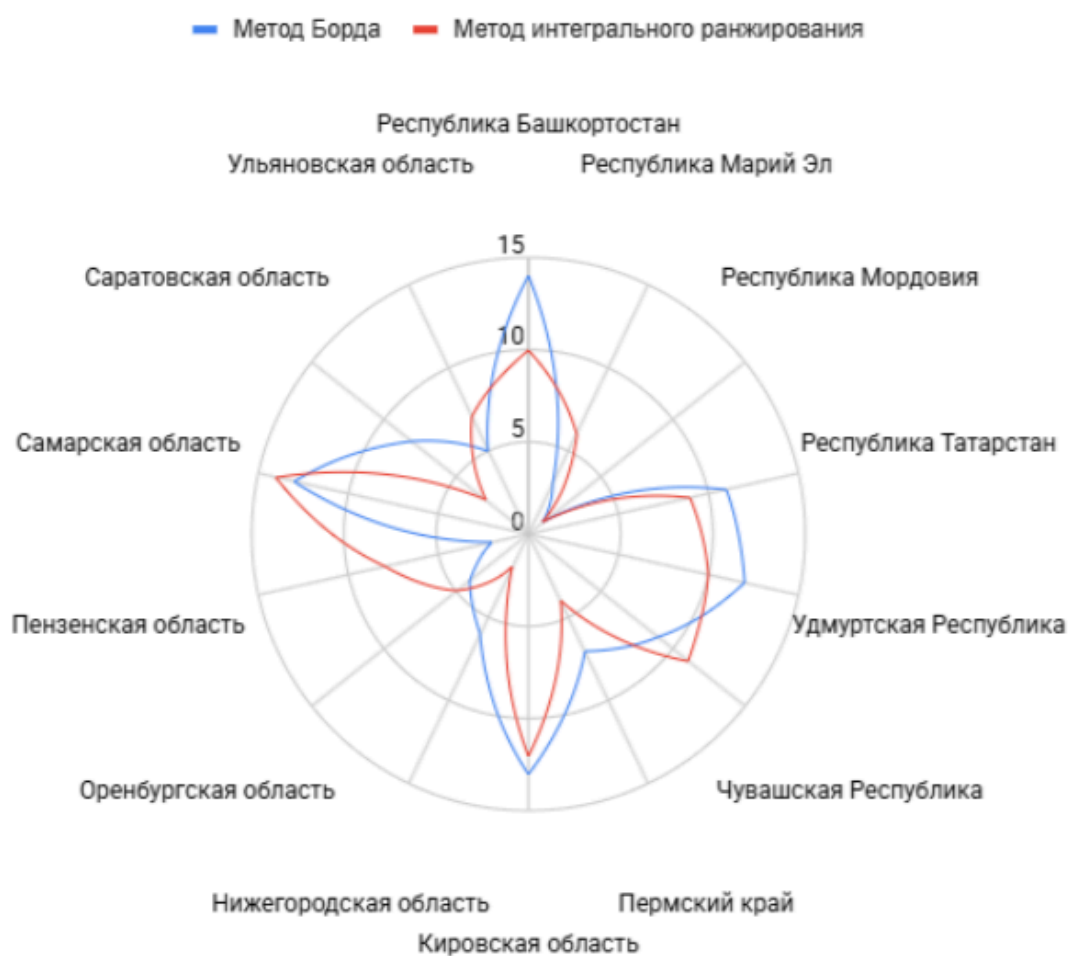


Рисунок 1 – Лепестковая диаграмма методов

Результаты имеют достаточно высокий уровень корреляции между собой, оба метода дают схожую оценку и не имеют серьезных расхождений.

Подведем итоги, по всем методам ранжирования: наилучшим методом ранжирования в нашем случае будет способ интегрального ранжирования, так как в сравнении с методом суммирования и нормализации метод интегрального ранжирования является его более продвинутой версией. Вместо примитивного сложения, метод предлагает осмысленное сравнение с целевым ориентиром.

В сравнении с методом суммы мест – главный антипод. Метод суммы мест теряет информацию о величине разрывов. В рамках регионов это важно.

В сравнении с методом Борда, несмотря на высокий уровень корреляции, у метода интегрального ранжирования идет учет всех показателей, а не только рангов, что повышает точность ранжирования, а также исключает равнозначность показателей, а также метод интегрального ранжирования более устойчив к выбросам чем метод Борда.

Во третьей части “Проектирование и реализация прототипа приложения для ранжирования регионов” представлен процесс проектирования приложения: подбор и обоснование технологий участвующих в разработке, а также краткий обзор функций приложения.

Программа будет представлять собой специализированное приложение, для проведения комплексного многокритериального анализа и ранжирования различных объектов, в частности регионов на основе различных показателей. В основе функционала лежат два независимых метода ранжирования: интегральное ранжирование и метод Борда.

Программа ориентирована на широкую аудиторию пользователей, работающих с данными в научной и практической сфере. Научные исследователи могут использовать приложение для сравнительного анализа методов принятия решений, а аналитики данных — для обработки региональной статистики и формирования рейтингов. Органы власти и

управления могут использовать программу в качестве инструмента для оценки и группировки территорий по уровням риска.

Исходя из всего вышесказанного, приложение должно позволять:

- Автоматически ранжировать регионы
- Предоставлять графический интерфейс для просмотра таблиц
- Возможность редактировать таблицу
- Способ создания и сохранения новых таблиц
- Импорт или экспорт CSV файлов

На основе списка требований к приложению был составлен перечень технологий:

1. Python.
2. Pandas.
3. Tkinter.
4. Matplotlib.
5. Seaborn.
6. Numpy
7. PyCharm.

В четвертой части “Проектирование архитектуры приложения для ранжирования регионов” представлен процесс проектирования инженерной архитектуры приложения с обоснованием ее выбора, формирование диаграммы прецедентов с подробным описанием функционала приложения.

В основе проекта будет лежать инженерная архитектура, а именно монолитная архитектура. В качестве архитектурного паттерна нам подойдет паттерн MVC – это архитектурный паттерн, который делит модули приложения на три группы: модель (model), представление (view), контроллер (controller). Модель содержит данные приложения, за которыми приходит пользователь. Представление показывает эти данные в понятном для пользователя виде. Контроллеры принимают

пользовательские команды и преобразуют данные по этим командам. В виде модели будет представлены DataFrame, представление — виджетами Tkinter, контроллер — методами класса, обрабатывающими события.

Для нашего приложения данная архитектура наиболее подходящая так как, позволяет четко разграничить функционал, что удобно в масштабировании. Такую архитектуру будет легко тестировать и за счет этого легко обнаружить баги на этапе разработки. Недостатки незначительны, так как имеется опыт работы с данной архитектурой.

В пятой части “Реализация прототипа приложения для ранжирования регионов” представлена демонстрация работы прототипа приложения для ранжирования регионов россии по уровню экологической безопасности, а именно: импорт данных, получение статистики, редактирование и различные манипуляции с данными, ранжирование методом борда, ранжирование интегральным методом, сравнение результатов различными методиками ранжирования с пояснениями и т.п.

В основной структуре проекта находятся 2 основных класса, PандасTableEditor и ТК.

Точка входа расположена в конце файла в блоке `if __name__ == "__main__"`, где создается главное окно Tkinter, инициализируется экземпляр класса и запускается главный цикл обработки событий.

Основу программы составляет класс PандасTableEditor, в котором находится весь функционал приложения: управление графическим интерфейсом (Tkinter), работу с данными (Pандас DataFrame), бизнес-логику ранжирования и визуализацию (Matplotlib).

Сравнение методов ранжирования

Для проведения сравнения методов ранжирования также необходимо загрузить датасет из любого источника или заполнить его вручную рисунок 2:

Система анализа и ранжирования регионов

СИСТЕМА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО РАНЖИРОВАНИЯ РЕГИОНОВ

Новая таблица | Открыть | Сохранить | + Добавить строку | - Удалить строку

Групповое ранжирование | **Ранжирование Борда** | Сравнение методов

Экспорт LaTeX | Экспорт графиков | Статистика

Нормализация: Нет | Min-Max | Z-score

Регионы	Показатель В	Показатель А	Показатель С
Республика Мордовия	106.5	17.4	0.5
Нижегородская область	237.6	42.9	17.9
Саратовская область	261.3	48.2	11.1
Пермский край	373.8	11.1	18.5
Оренбургская область	487.0	21.1	2.8
Республика Марий Эл	47.2	52.1	16.4
Ульяновская область	48.3	75.7	8.1
Пензенская область	53.2	54.4	0.2
Республика Татарстан	423.1	47.3	46.8
Республика Башкортостан	562.5	46.1	70.1
Чувашская Республика	46.3	59.0	70.0
Кировская область	176.4	88.5	65.6
Удмуртская Республика	192.6	74.0	59.4
Самарская область	303.4	85.1	36.4

Файл загружен: RESULT.csv

Рисунок 2– Заполнения датасет

Для проведения сравнения нажимаем на красную кнопку с надписью “Сравнение методов” рисунок 3:

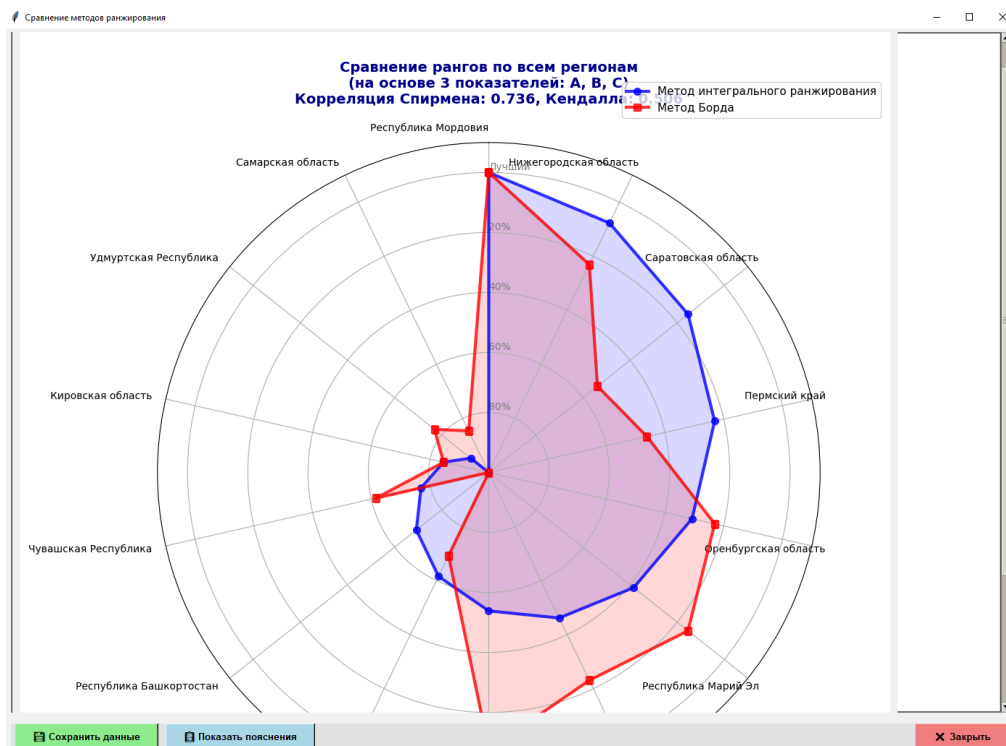


Рисунок 3 – Диаграмма результатов ранжирования методов

При нажатии открывается новое окно с лепестковой диаграммой в котором отображены результаты ранжирования двух методик, для методики Борда были выбраны 3 стандартных показателя, которые используется для методики интегрального ранжирования. На самой диаграмме отображены регионы и соединены диаграммой в зависимости от рейтинга по методу.

Заключение. В ходе выполнения работы были в полном объёме реализованы поставленные цели и задачи. Проведён систематический анализ и сравнительная оценка ключевых методов ранжирования. Для каждого рассмотренного метода рассмотрены математические основы, определены области применимости и выявлены теоретические ограничения.

На основе полученных результатов разработано программное обеспечение, предназначенное для расчёта и визуализации интегрального рейтинга регионов по уровню экологической безопасности. Реализованный вычислительный модуль поддерживает применение различных математических моделей ранжирования в единой среде. Разработанный программный продукт официально зарегистрирован в Роспатенте (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025680145; дата подачи заявки и публикации в реестре — 03.08.2025).

Тестирование показало, что программа работает быстро, стабильно и даёт корректные результаты на разных наборах данных. Интерфейс сделан максимально простым: пользователь может начать работу без длительного обучения.

Ключевыми преимуществами разработанного решения выступают: мультиалгоритмический подход, позволяющий применять различные методы ранжирования в рамках единого вычислительного конвейера; встроенный модуль сравнительного анализа и расчёта корреляционных

зависимостей между результатами; интерактивная визуализация данных с возможностью экспорта в графическом и табличном форматах; а также наличие встроенной справочно-методологической базы, обеспечивающей прозрачность и верифицируемость расчётных процедур.

Уникальная архитектура программного комплекса, сочетающая гибкость настройки алгоритмов с аналитической прозрачностью, не имеет прямых функциональных аналогов в отечественной практике. Разработанное решение обладает высоким прикладным потенциалом и может быть интегрировано в работу федеральных и региональных органов экологического контроля, а также научно-исследовательских организаций для мониторинга экологической обстановки, ранжирования территорий по степени антропогенного воздействия и формирования статистических отчётов. В научной сфере программное обеспечение может служить инструментом для верификации новых методик ранжирования и наглядной демонстрации пространственно-временных трендов экологических показателей. Перспективным направлением дальнейших исследований является адаптация алгоритмического ядра к работе с данными дистанционного зондирования Земли и внедрение модулей машинного обучения для прогнозирования экологических рисков.