

На правах рукописи

Мерзлякова Наталья Алексеевна

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ РЕЙТИНГОВОГО ОЦЕНИВАНИЯ НА ОСНОВЕ
СТАТИСТИЧЕСКОГО И СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ЧИСЛОВОЙ И
НЕЧИСЛОВОЙ ИНФОРМАЦИИ**

Специальность 2.3.1. – Системный анализ, управление и обработка информации,
статистика

Автореферат
диссертации на соискание учёной
степени кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» на кафедре математики

Научный руководитель: **Рожков Николай Николаевич** – доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», заведующий кафедрой математики

Официальные оппоненты: **Буре Владимир Мансурович** – доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», профессор кафедры математической теории игр и статистических решений

Шиков Алексей Николаевич – кандидат технических наук, доцент, Северо-Западный институт управления (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», доцент кафедры бизнес-информатики

Ведущая организация: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», г. Санкт-Петербург

Защита диссертации состоится 03 декабря 2024 г. в 11.00 на заседании диссертационного совета 24.2.385.08, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», по адресу: 191186, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 18, ауд. 437.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» по адресу: 190068, Санкт-Петербург, Вознесенский пр., д. 46, <https://sutd.ru/nauka/dissertacii/>

Автореферат разослан «___» _____ 2024 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета
24.2.385.08
кандидат технических наук,
доцент

Вагнер Виктория Игоревна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Построение рейтинговых систем и принятие решений на основе рейтинговых оценок широко используется в задачах управления и оценки качества во многих областях сферы услуг, в том числе в социальной сфере. В первую очередь, рейтинговые системы находят применение в ситуациях, когда сопоставляемые объекты (альтернативные решения, конкурирующие между собой изделия-аналоги, близкие по своему профилю организации и т.п.) характеризуются целым комплексом показателей. Рейтинг служит важным инструментом управления и поддержки принятия решений в задачах многокритериальной оптимизации, когда некоторые из учитываемых показателей могут быть представлены только в нечисловой форме, например, оцениваться по той или иной порядковой шкале.

Важной характерной особенностью рейтинговой оценки, отличающей ее от других многокритериальных оценок, является то, что в ходе ее построения применяются экспертные методы, то есть существенную роль играет субъективная составляющая.

Сказанное выше характерно для систем рейтинговых оценок, применяемых в сфере высшего образования, для объектов сферы туристского бизнеса, финансовых учреждений и целого ряда других. Например, в сфере высшего образования широко известны такие рейтинговые системы, как THE (Times Higher Education); QS (QS World University Rankings); U.S. News (рейтинг новостного агентства США Best Global Universities) и ARWU (Academic Ranking of World Universities, Шанхайский рейтинг), U-Multirank, Национальный рейтинг университетов (НРУ) и другие.

При всем богатом опыте применения указанных выше и им аналогичных рейтинговых систем они уязвимы для критики в связи с недостаточной обоснованностью выбора учитываемых показателей, а также критериев формирования комитета экспертов. Границы применимости получаемых результатов (т. е. возможности их переноса на другие совокупности объектов) также, как правило, не ясны. В случае рейтинговых систем для вузов свидетельством этих недостатков служит само обилие различных систем, их ориентация на факторы, значимые лишь для ограниченного числа стран, непрозрачность выбора номенклатуры критериев и показателей, которые учитываются в той или иной модели, а также обилие параметров (например, весовых коэффициентов), назначаемых разработчиками рейтинговых систем весьма произвольно. Помимо этого, практически во всех рейтинговых системах слабо отражена связь эффективности организаций высшего образования с потребностями той или иной отрасли экономики. Кроме того, неоднократно отмечалось, что большинство известных международных рейтингов далеко не полностью применимы к российской системе образования, так как не отражают многие ее специфические черты.

В существующих рейтинговых системах не в достаточной мере используется развитый в настоящее время арсенал математического моделирования и методов математической статистики, при помощи которых целесообразно выработать более универсальные математические модели и объективные критерии для оценки деятельности различных объектов сферы услуг. Эти замечания указывают на актуальность разработки научно обоснованных подходов к построению рейтинговых систем, базирующихся на системном анализе и обработке с помощью современных статистических методов больших массивов информации, что в конечном итоге должно позволить совершенствовать управление объектами в конкретной отрасли.

Степень разработанности темы исследования. Математические основы методов многокритериального оценивания, в том числе использующих экспертные оценки и

применяемых в рейтинговых системах, изложены в работах Айвазяна С.А., Литвака Б.Г., Мешалкина Л.Д., Орлова А.И., Хованова Н.В., Шмерлинга Д.С. и др. В этих работах существенное развитие получила проблематика построения моделей, характеризующих качество деятельности организаций и учреждений различных отраслей сферы услуг. Рейтинговые модели оценивания для вузов продолжают совершенствоваться под эгидой таких признанных международных и российских организаций, как Институт высшего образования Шанхайского университета Цзяо Тун, британская организация Quacquarelli Symonds, британская газета The Times, испанский институт Spanish National Research Council, российское рейтинговое агентство «Эксперт РА», американский журнал US News & World Report, российское агентство «Интерфакс» и др. Из отечественных исследований в этой области необходимо отметить работы Болотова А.В., Мотовой Г.Н., Наводнова В.Г., Халина В.Г. и других авторов, внесших существенный вклад в развитие теории и практики применения рейтинговых систем.

Вместе с тем описания рейтинговых систем, которые можно найти во многих современных источниках, имеют, как правило, характер готового алгоритма и/или обсуждения имеющегося практического опыта построения рейтинговых оценок для заданной эмпирической совокупности объектов, тогда как научный, системный подход к построению рейтинговой системы в той или иной предметной области используется в недостаточной мере.

Цель работы: разработка рейтинговых систем для совокупностей объектов, характеризующихся набором числовых и нечисловых показателей на основе применения методов системного анализа, анализа экспертных оценок и методов многомерной статистики.

Достижение поставленной цели предусматривает последовательное решение ряда задач, которые перечислены ниже.

Задачи исследования:

- 1) Системный анализ и обработка информации о критериях, используемых в ряде известных рейтинговых моделей, в частности, в системе высшего образования;
- 2) Прикладные статистические исследования данных о практике применения ряда известных рейтинговых моделей, в частности, используемых при оценке высших учебных заведений;
- 3) Разработка модели рейтингового оценивания (ранжирования) совокупности объектов методами многомерного статистического анализа на основе системы показателей, отражающих их эффективность и результаты, достигнутые при различных внешних условиях;
- 4) Разработка стохастической модели построения рейтинговой системы, допускающей учет ограничений, задаваемых в виде полученной экспертным путем информации, носящей нечисловой, неполный и/или нечеткий характер;
- 5) Разработка и реализация в виде специальной компьютерной программы алгоритма построения рейтинговой системы при заданных нечисловых ограничениях.

Объектом исследования является совокупность показателей, характеризующих эффективность деятельности различных организаций сферы услуг (высших учебных заведений, банков, туристических агентств и т.п.).

Предметом исследования являются системный анализ и математические модели рейтинговых систем, отражающие заданные критерии оптимальности.

Используемые методы исследований. В диссертационной работе использованы методы системного анализа, методы управления и обработки информации,

математического моделирования, квалиметрии, многомерного статистического анализа (метод главных компонент), анализа экспертных оценок и др.

Соответствие диссертации Паспорту научной специальности. Диссертационная работа выполнена в рамках научной специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» так как соответствует следующим пунктам ее Паспорта:

2. Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта.
3. Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта.
5. Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта.
13. Методы получения, анализа и обработки экспертной информации, в том числе на основе статистических показателей.
17. Прикладные статистические исследования, направленные на выявление, измерение, анализ, прогнозирование, моделирование складывающейся конъюнктуры и разработки перспективных вариантов развития сложных систем.

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что в ней:

- построены критерии и модели ранжирования совокупности объектов, основным отличием которых от существующих является использование статистически значимых линейных комбинаций показателей и рандомизация весовых коэффициентов, основанная на статистическом анализе данных экспертного опроса;
- решена задача построения комплексной оценки организаций высшего образования, учитывающей отраслевую специфику, путем управления параметрами математической модели;
- разработан и реализован новый цифровой метод формирования множества допустимых весовых коэффициентов в модели линейной свертки, отражающих заданные ограничения на учитываемые показатели;
- разработан и реализован в виде компьютерной программы новый метод построения рейтинговых систем, допускающий наличие сложной структуры взаимосвязей между отдельными показателями и нечеткий/нечисловой характер заданных критериев;

Теоретическая значимость работы обусловлена разработанным в ней математическим инструментарием, позволяющим учитывать информацию о показателях и критериях, которая имеет нечисловой/нечеткий или иной характер.

Практическая значимость результатов работы состоит в применимости ее результатов при разработке методов управления эффективностью деятельности различных организаций сферы услуг, включая разработку отраслевых и региональных рейтинговых систем.

Положения, выносимые на защиту:

1. Результаты системного анализа ведущих рейтингов в сфере образования, туризма и ряде других областей, а также методов и критериев принятия решений, применяемых в мировой практике рейтинговых систем в различных отраслях сферы услуг;
2. Метод построения новых рейтинговых систем, основанный на статистически значимых линейных комбинациях показателей с использованием анализа главных компонент;

3. Математическая модель рейтинговой системы с возможностью учета изменений в системе приоритетов, представленных на основе данных экспертного опроса;
4. Логическая блок-схема последовательных этапов разработки рейтинговой системы для различных видов исходных данных и различных дополнительных ограничений на учитываемые показатели.

Степень достоверности результатов диссертационного исследования обусловлена согласованностью полученных расчетных данных с данными ежегодно публикуемых рейтинговых исследований в России и за рубежом, а также на корректном применении цифровых методов обработки данных экспертных оценок и многомерной математической статистики с помощью разработанных компьютерных программ.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях и семинарах: Международная научно-методическая конференция «Математика в ВУЗе и в школе» (Псков, 2015); VIII, IX и X международные научно-практические конференции «Государство и бизнес. Современные проблемы экономики» (Санкт-Петербург, 2016, 2017 и 2018); Международная научно-практическая конференция «Молодежная политика России в контексте глобальных мировых перемен» (Санкт-Петербург, 2018); семинар кафедры информационных систем в экономике СПбГУ (2018), Международная научно-практическая конференция «Системный анализ в проектировании и управлении» (Санкт-Петербург, 2023).

Личный вклад автора состоит в решении всех поставленных в работе задач, включая сбор и систематизацию данных, необходимых для достижения цели работы; обработку данных методами многомерного статистического анализа; разработку моделей, применяемых на различных этапах построения рейтинговых систем, включая создание алгоритмов, реализованных в виде используемых в работе программ для ЭВМ.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 18 научных работ, из них 5 – без соавторов, в том числе 3 работы - в рецензируемых научных журналах из перечня изданий, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, 1 статья из перечня журналов, индексируемых в базе данных Scopus, и 2 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ в Роспатенте.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы (85 наименований), списка иллюстративного материала и 7 приложений. Основной текст диссертации изложен на 136 страницах машинописного текста, содержит 25 таблицы и 16 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационного исследования, дана оценка степени ее проработанности, сформулированы цель, задачи и методы исследования, обосновано соответствие темы работы паспорту специальности, а также указаны практическая значимость, научная новизна и основные сведения о полученных в работе результатах.

В первой главе «Анализ наиболее популярных рейтинговых систем и опыт их практического применения» рассмотрены причины возникновения, а также достоинства и недостатки рейтинга как инструмента управления на основе сравнительной оценки объектов. Проведен системный анализ известных зарубежных *рейтингов высших учебных заведений*: THE (Times Higher Education); QS (QS World University Rankings); U.S. News (рейтинг новостного агентства США Best Global Universities) и ARWU (Academic Ranking of World Universities, Шанхайский рейтинг) и др. Сделан вывод, что наиболее известные мировые рейтинги университетов основаны на критериях, характерных для англо-

саксонской системы, где вузы являются активными игроками на мировых рынках труда и наукоемкой продукции. Их заведомое преимущество в указанных рейтинговых системах обусловлено как языковым фактором, так и современной конъюнктурой мировой экономики. Отмечено, что в последние годы в мировой практике появилось немало альтернативных рейтинговых систем, в частности, различные профильные рейтинги, позволяющие сравнивать «подобное с подобным».

В работе также проанализированы российские национальные рейтинги университетов, многие из которых основаны на данных ежегодного мониторинга эффективности деятельности вузов: Рейтинг Эксперт-РА (RAEX), Национальный рейтинг университетов (НРУ «Интерфакс»), Московский международный рейтинг MosIUR «Три миссии университета», а также перспективный метод построения для вузов «глобального агрегированного рейтинга». Характерной чертой практически всех указанных рейтинговых систем является то, что выбор весовых коэффициентов, которые присваиваются учитываемым в рейтинге показателям, не обусловлен алгоритмически и осуществляется весьма субъективно.

Еще одной отраслью, широко применяющей рейтинговые оценки, является *туристский бизнес*. В работе дан краткий обзор рейтинговых систем, применяемых к оценке крупных российских туристических компаний (TravelRadar, Travelata и др.). Отмечено, что для данной сферы характерно наличие в числе учитываемых показателей как объективных (объем продаж, число направлений и т. п.), так и субъективных, отражающих степень удовлетворенности потребителя и требующих применения методов анализа экспертных оценок в ходе обработки исходных данных.

Во многом аналогичными особенностями обладают и многочисленные рейтинговые системы, применяемые при оценке *работы авиакомпаний*. В работе приведены примеры результатов построения рейтингов для российских и для мировых авиаперевозчиков. Отмечены существенные различия в подходах к выбору учитываемых показателей в зависимости от критериев, по которым строится тот или иной рейтинг (качество обслуживания пассажиров, возраст парка самолетов, маршрутная сеть, частота случаев задержки вылета и т. п.).

Приведены примеры широко применяемых *рейтинговых систем в банковской сфере*: международные кредитные рейтинги Fitch Ratings, Moody's, Standard & Poor's, а также российские, осуществляемые четырьмя российскими компаниями: Аналитическое кредитное рейтинговое агентство (АКРА), агентство «Эксперт РА», Национальное рейтинговое агентство (НРА) и агентство «Национальные кредитные рейтинги» (НКР). Отмечено, что поскольку кредитный рейтинг банка не может превышать кредитный рейтинг страны, возникают сложности при сравнительном оценивании объектов из различных стран и регионов.

В качестве вывода отмечено, что проанализированные рейтинговые системы различных отраслей бизнеса и экономики, обладают похожей структурой в виде взвешенной суммы единичных и узконаправленных комплексных показателей, отражающих основную деятельность организаций. Методика статистической обработки данных и расчета итоговой рейтинговой оценки практически для всех систем остается закрытой, в частности, отсутствуют научно обоснованные критерии присвоения весовых коэффициентов для учитываемых показателей.

Вторая глава «Теоретические основы и методы, применяемые при построении рейтинговых систем в различных предметных областях» посвящена описанию математического инструментария, используемого для решения поставленных в работе задач

и построению общей схемы последовательно выполняемых этапов разрабатываемой модели рейтинговой системы.

Спецификой рейтинговых систем, применяемых как в области образования, так и в других указанных выше отраслях сферы услуг, является необходимость учитывать показатели, оцениваемые по итогам опросов потребителей (или опросов экспертов). Как следствие, рейтинговая система должна включать построение квалиметрических шкал, используемых для показателей, измеряемых в нечисловой форме. Под квалиметрической шкалой в работе понимается структура $S = \langle U; R \rangle$, где $U = (u_1, u_2, \dots, u_k)$ - множество объектов произвольной природы (пунктов шкалы), R - отношение строгого порядка, заданное на множестве U . Отмечено, что на множестве оцениваемых объектов при этом возникает бинарное отношение нестрогого порядка. Даны конкретные примеры использования методов анализа экспертных оценок, в частности, ранжировок, при построении рейтинговых систем для n объектов. Проверка гипотезы о согласованности данных, получаемых от m экспертов, выполнена с применением коэффициента конкордации (1)

$$W = \frac{12 \sum_{j=1}^n (S_j - S_{cp})^2}{m^2 n (n^2 - 1) - m \sum_{i=1}^m T_i} \quad (1)$$

где T_i - поправочные коэффициенты $T_i = \sum_{l=1}^{k_i} n_{i,l} (n_{i,l}^2 - 1)$; k_i - число уровней, выделенных i -м экспертом; $n_{i,l}$ - число объектов, отнесенных к l -му уровню i -м экспертом ($l = 1, \dots, k_i$); S_j - сумма рангов, присвоенных j -му объекту.

Второй параграф второй главы содержит описание и обоснование применения методов многомерной математической статистики, в наибольшей степени отвечающих решаемым в работе задачам.

В большинстве существующих рейтинговых систем итоговая оценка выражается в виде линейной свертки (2)

$$Q = p_1 X_1 + p_2 X_2 + \dots + p_m X_m, \quad (2)$$

где X_1, X_2, \dots, X_m - учитываемые показатели, p_1, p_2, \dots, p_m - весовые коэффициенты, отражающие сравнительную значимость показателей.

При наличии между показателями большого числа значимых корреляционных связей весомость показателей, тесно связанных между собой, может неоправданно возрасти, что в определенном смысле искажает логику построения модели (2). В этой связи проведение корреляционного анализа совокупности показателей применяется как один из первых этапов построения рейтинговой системы.

Следующим этапом построения модели рейтинговой оценки является применение *анализа главных компонент* (ГК) как эффективного метода многомерной математической статистики, позволяющего снизить размерность пространства показателей, устранить корреляционные зависимости и построить линейную комбинацию показателей, по которой разброс значений объектов будет максимальным, что дает максимальную различимость получаемых в итоге рейтинговых оценок. Реализация метода ГК выполнена в работе путем решения характеристического уравнения

$$\det (R - \lambda I) = 0, \quad (3)$$

где R – корреляционная матрица показателей. Собственный вектор (p_1, p_2, \dots, p_m) , соответствующий наибольшему из корней $\lambda_1, \dots, \lambda_m$ уравнения (3) – собственных чисел матрицы R , дает искомый набор весовых коэффициентов для вычисления рейтинговой оценки согласно (2). В работе также отмечен ряд дополнительных ограничений, при которых рейтинговая оценка может быть получена непосредственно с помощью метода ГК.

В третьем параграфе главы 2 предложена модель рейтинговой оценки, позволяющая путем применения метода *рандомизации весовых коэффициентов* учитывать дополнительно задаваемые нечеткие ограничения в виде частичного упорядочения показателей по степени их значимости.

Сравнительная значимость отдельных показателей, как правило, обусловлена приоритетами, задаваемыми экспертами или разработчиками рейтинговой системы в виде нечетких суждений вида «показатель X_i более важен, по сравнению с показателем X_k ». Такого рода информацию предлагается ввести в модель с помощью соответствующих неравенств вида (4)

$$p_i > p_k \quad (4)$$

для весовых коэффициентов в (2). Пусть требуемая точность оценки весовых коэффициентов задана в виде числа K^{-1} (например, если точность равна 0,05, то $K = 20$). Тогда все множество допустимых наборов (p_1, p_2, \dots, p_m) весовых коэффициентов является конечным и содержит C_{K-1}^{m-1} элементов. Исходя из того, что при отсутствии ограничений вида (4), все эти наборы весов в равной мере пригодны для построения рейтинговой модели, на их множестве задается равномерное распределение вероятностей. Тем самым каждый весовой коэффициент p_i рассматривается как случайная величина, закон распределения которой имеет вид

$$P(q_i = j / K) = \left(C_{K-1}^{m-1}\right)^{-1} C_{K-j-1}^{m-2} \quad (5)$$

При наличии ограничений вида (4) число допустимых наборов весовых коэффициентов существенно сокращается, а подсчет распределений вида (5) выполняется с помощью, разработанной в рамках данного исследования, специальной компьютерной программы.

При использовании данной модели рейтинговая оценка (2) каждого объекта приобретает характер случайной величины, что позволяет оценить значимость различия между подсчитанными рейтингами любых двух объектов: А и В с помощью вероятности стохастического доминирования

$$P(Q_A > Q_B). \quad (6)$$

С учетом возможности применения описанных выше математических моделей к различным видам исходной числовой и нечисловой информации об объектах, оцениваемых с помощью рейтинга, предложена следующая блок-схема (рис.1) последовательных этапов разработки рейтинговой системы, отражающая возможность наличия различных видов исходных данных и различных дополнительных ограничений на учитываемые показатели.

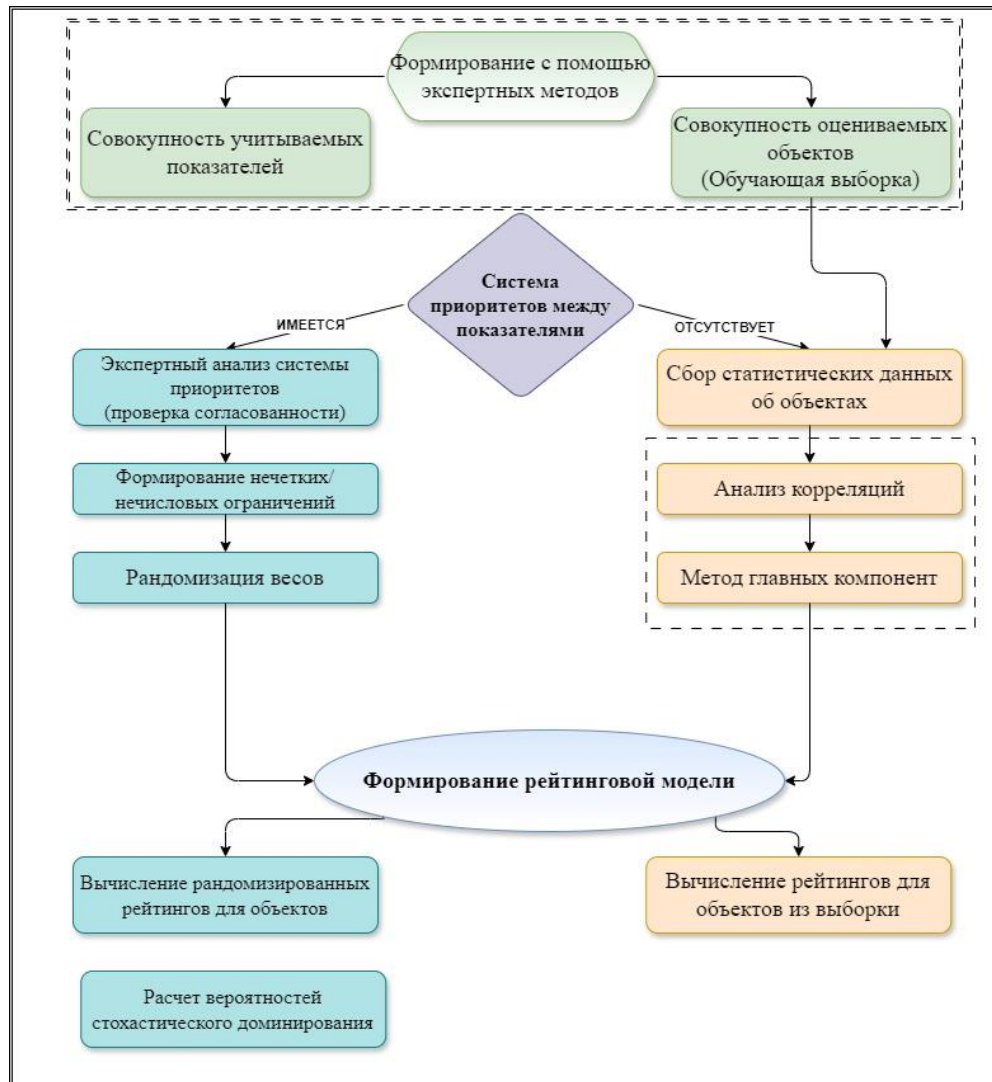


Рисунок 1 – Блок-схема этапов построения рейтинговой системы

В третьей главе «Практические примеры реализации разработанных методов построения рейтинговых систем» содержатся результаты анализа статистических данных, относящихся к конкретным совокупностям высших учебных заведений РФ.

В первом параграфе выбор показателей, учитываемых при построении рейтинговой системы, обусловлен правилами ежегодного мониторинга эффективности вузов. Показатели: X_1, \dots, X_7 (обозначения – см. табл.1) Выявлена устойчивая положительная корреляция между отдельными показателями: результатами научно-исследовательской деятельности (X_2) и финансово-экономическими показателями (X_4), а также корреляцию X_5 с X_2 и X_4 , подтверждающую зависимость заработной платы от итогов научных исследований и финансово-экономических показателей вуза. Обработка статистических данных за 2014–2020 годы показала, что корреляции между названными показателями являются статистически значимыми.

Наличие высоких корреляций оправдывает последующее применение к данным мониторинга метода анализа главных компонент (ГК), позволяющего сократить размерность исходного пространства показателей и выделить наиболее информативные их линейные комбинации, с помощью которых было выполнено построение рейтинговой системы.

Анализ ГК данных мониторинга вузов Санкт-Петербурга за 2014–2020 позволил выделить 3 первые главные компоненты (ГК1-ГК3), которые несут в себе порядка 80% всей

информации, содержащейся в семи исходных показателях (см. табл. 1, где приводятся результаты 2018–2020).

Т а б л и ц а 1 – Результаты анализа данных мониторинга вузов Санкт-Петербурга за 2018-2020 методом главных компонент (весовые коэффициенты для ГК1)

Показатель	Наименование показателя мониторинга	2018	2019	2020
		Объем информации в ГК1-ГК3 (%)		
		78,74	75,14	78,22
		Значение весовых коэффициентов для ГК1		
X ₁	Образовательная деятельность	0,39	0,49	0,46
X ₂	Научная деятельность	0,60	0,51	0,52
X ₃	Международная деятельность	0,00	0,17	0,20
X ₄	Финансово-экономическая деятельность	0,62	0,51	0,53
X ₅	Заработная плата ППС	0,32	0,45	0,43
X ₇	Дополнительный показатель (для большинства вузов - остепененность ППС)	0,05	0,11	0,12

Устойчивость результатов анализа ГК по годам наблюдения оправдывает использование значения ГК1, как наиболее информативной линейной комбинации показателей мониторинга, для построения рейтинговой оценки вузов. После исключения наименее значимых показателей (в данном случае: X₃ и X₇) была построена математическая модель (7) для вычисления рейтинговой оценки Q₁:

$$Q_1 = 0,24X_1 + 0,27X_2 + 0,27X_4 + 0,22X_5 \quad (7)$$

В параграфе 2 главы 3 аналогичные модели рейтинговой оценки были построены для ряда других совокупностей вузов России:

а) для МГУ им. Ломоносова, СПбГУ и других ведущих вузов России - участников проекта «5-100». При анализе данной совокупности также наблюдались устойчивые высокие корреляции между рядом показателей, что подтверждает обоснованность применения метода главных компонент для исследуемой совокупности объектов. Результаты анализа статистических данных (табл. 2) носят аналогичный характер, результатам, полученным для вузов Санкт-Петербурга. Построенная в итоге математическая модель (8) для вычисления рейтинговой оценки Q₂ имеет вид

$$Q_2 = 0,21X_1 + 0,26X_2 + 0,14X_3 + 0,23X_4 + 0,07X_5 + 0,09X_6 \quad (8)$$

Т а б л и ц а 2 – Результаты анализа данных мониторинга ведущих вузов России за 2016-2018 методом главных компонент (весовые коэффициенты для ГК1)

Показатель	Наименование показателя мониторинга	2016	2017	2018
		Объем информации в ГК1-ГК3 (%)		
		75,5	73,9	73,3
		Значение весовых коэффициентов для ГК1		
X ₁	Образовательная деятельность	0,48	0,46	0,44
X ₂	Научная деятельность	0,57	0,58	0,57
X ₃	Международная деятельность	0,27	0,38	0,31
X ₄	Финансово-экономическая деятельность	0,49	0,54	0,49
X ₅	Заработная плата ППС	0,20	0,11	0,36
X ₆	Трудоустройство выпускников	0,31	0,10	0,11

б) для вузов, реализующих подготовку кадров для текстильной и легкой промышленности. В данном случае обучающую выборку составили 8 вузов, расположенных в Санкт-Петербурге, Казани, Москве и др. (названия – см. *табл. 3*). Часть выборки составляют вузы-участники программы «Приоритет-2030» (отмечены в *табл. 3* «*»).

В данном примере 2 первые ГК вобрали в себя более 80% от всей информации, причем наибольший вклад в ГК1 вносят показатели X_2 и X_4 , отражающие финансовые результаты и потенциал вуза, а также показатель X_3 , что указывает на интерес к этим вузам со стороны иностранных граждан.

Для рейтинговой оценки, основанной на данных для вузов, профильных для текстильной отрасли, также в результате расчетов по методу ГК была построена модель (9)

$$Q_3 = 0,15X_1 + 0,24X_2 + 0,23X_3 + 0,19X_4 + 0,17X_5, \quad (9)$$

позволяющая вычислять их рейтинги, упорядочив вузы по значениям Q_3 (см. *табл.3*).

Т а б л и ц а 3 – Рейтинги 8-и вузов текстильного профиля

Обозначение вуза	ВУЗ	Рейтинговая оценка Q_3	Позиция в рейтинге
У1	Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)	0,43	4
У2*	Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна*	0,50	3
У3*	Казанский национальный исследовательский технологический университет*	0,83	1
У4	Ивановский государственный политехнический университет	0,14	7
У5	Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского	0,69	2
У6*	Вятский государственный университет*	0,22	6
У7	Ивановский государственный химико-технологический университет	0,36	5
У8	Костромской государственный университет	0,07	8

Третий параграф главы 3 содержит построение рейтинговой системы, в которой для показателей изначально дополнительно заданы ограничения, отражающие приоритеты потребителя (например, конкретной отрасли, в интересах которой в вузе ведется подготовка специалистов). Учет приоритетов достигается путем введения ограничений на значения весовых коэффициентов p_1, p_2, \dots, p_m в модели линейной свертки вида (2).

Данный подход был применен в работе к восьми вузам текстильного профиля (см. их перечень в *табл.3*). Для достижения цели работы была разработана анкета, в которой экспертам было предложено проранжировать заданный набор показателей деятельности вуза по степени их значимости для удовлетворения потребностей текстильной и легкой промышленности в квалифицированных специалистах. Отличительной чертой анкетирования явилось то, что его целью являлась не непосредственная оценка вуза или значений каких-либо его показателей, а формирование нечисловых сравнительных оценок важности показателей, которые характеризуют эффективность вуза с позиций отрасли.

В анкетировании, проведенном неоднократно, участвовали специалисты предприятий текстильной и легкой промышленности г. Санкт-Петербурга, а также ведущие

ученые и преподаватели, работающие на профильных для текстильной и легкой промышленности кафедрах ФГБОУ ВО «СПбГУПТД».

Наличие статистически значимой согласованности мнений экспертов было подтверждено с помощью коэффициента конкордации и распределения хи-квадрат.

Выявленные приоритеты были описаны в виде системы отношений строгого и нестрогого порядка, задаваемых на множестве показателей. Данные бинарные отношения были учтены в виде цепочек строгих и нестрогих неравенств между весовыми коэффициентами p_1, p_2, \dots, p_m .

Для показателей, перечисленных в *табл.1*, ограничения, полученные в результате экспертного опроса, описываются цепочкой неравенств (10) (индексы весовых коэффициентов соответствуют индексам показателей в *табл.1*):

$$p_5 > p_1 > p_7 > p_4 \geq p_2 \geq p_3. \quad (10)$$

Условия (10) служат единственной информацией относительно неизвестных весовых коэффициентов. При моделировании имеющей место неопределенности выбора весов в (2) был использован метод их рандомизации.

При заданной точности оценки весов p_i , равной 0,05, общее число возможных наборов весовых коэффициентов будет равно

$$C_{20-1}^{6-1} = 11628, \quad (11)$$

среди которых допустимыми являются лишь 20 наборов, удовлетворяющих ограничениям (10). Каждому из допустимых двадцати наборов приписывается вероятность, равная 1/20, поскольку помимо неравенств (10) других ограничений на выбор весовых коэффициентов не имеется, и, следовательно, все 20 наборов равновероятны (то есть в равной мере предпочтительны). Выполненная таким образом рандомизация позволяет рассматривать весовые коэффициенты p_i как случайные величины, распределения которых были найдены в явном виде.

Математические ожидания рандомизированных весов (см. *табл. 4*) были непосредственно использованы в линейной свертке (2). Расчет производился с помощью компьютерной программы, разработанной в рамках выполнения данного диссертационного исследования.

Т а б л и ц а 4 – Математические ожидания рандомизированных весовых коэффициентов при ограничениях (10)

Весовой коэффициент	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_7
Математическое ожидание p_i	0,25	0,06	0,06	0,08	0,41	0,14

Путем применения метода рандомизации к данным мониторинга указанных выше восьми вузов, представляющих интерес для текстильной и легкой промышленности, были найдены законы распределения рейтинговой оценки Q для каждого вуза (их математические ожидания – см. *табл. 5*).

Т а б л и ц а 5 – Математические ожидания значений рейтинговой оценки Q для вузов (приоритеты: (10))

ВУЗ	У1	У2*	У3*	У4	У5	У6*	У7	У8
Математическое ожидание Q	0,49	0,64	0,81	0,13	0,47	0,37	0,49	0,17
Позиция в рейтинге	3-4	2	1	8	5	6	3-4	7

Значимость превосходства рейтинга одного вуза над рейтингом другого была определена на основе принципа «стохастического доминирования» (6). Так, сравнивая рейтинги вузов У1 и У5, из 20 допустимых наборов весов имеется 16, для которых $Q_{У1} > Q_{У5}$. Таким образом, вероятность (6) будет равна $16/20 = 0,8$ и, следовательно, сделан вывод о значимом различии между рейтинговыми оценками этих вузов.

При другом выборе приоритетов, а именно (12), когда наиболее значимыми считаются показатели, характеризующие научную деятельность и потенциал научно-педагогических работников:

$$p_2 > p_4 > p_1 \geq p_7 > p_5 \geq p_3, \quad (12)$$

имеется всего 14 допустимых наборов весов, для которых в табл. 6 приведены значения математических ожиданий рандомизированных значений Q для тех же вузов.

Т а б л и ц а 6 – Математические ожидания значений рейтинговой оценки Q для вузов (приоритеты: (12))

ВУЗ	У1	У2*	У3*	У4	У5	У6*	У7	У8
Математическое ожидание Q	0,45	0,52	0,83	0,12	0,64	0,20	0,43	0,14
Позиция в рейтинге	4	3	1	8	2	6	5	7

Показано, что рейтинги вузов чувствительны к задаваемой системе приоритетов. Так, при ограничениях (12) У5 - МГУТИУ им. Разумовского занимает второе место, тогда как в рейтинге, построенном при ограничениях (10), заданных специалистами текстильной и легкой промышленности, этот вуз имеет рейтинг равный 5, а второе место занимает У2 - СПбГУПТД, как университет, в большей степени ориентированный на данную отрасль.

Таким образом, поскольку параметром модели является лишь отношение частичного порядка на множестве показателей (а не их конкретные значения), рейтинговые оценки, основанные на методе рандомизации, обладают тем преимуществом, что дают возможность гибко учитывать приоритеты, задаваемые потребителями (отраслевые, региональные и т.п.).

ВЫВОДЫ

- 1) Выполненная в работе формализация задач системного анализа рейтинговых моделей, используемых в ряде отраслей сферы услуг, в частности, в системе высшего образования, позволила выявить сильные и слабые стороны применяемых в них критериев;
- 2) С помощью системного анализа и обработки статистической информации выявлены структура и специфика критериев эффективности деятельности организаций в сфере услуг;
- 3) Проведены статистические исследования данных о результатах применения ряда рейтинговых моделей, в частности, используемых при оценке высших учебных заведений;
- 4) Разработана модель рейтингового оценивания (ранжирования) совокупности объектов методами многомерного статистического анализа на основе системы показателей, отражающих их эффективность при различных внешних условиях;
- 5) Разработана стохастическая модель построения рейтинговой системы, учитывающая ограничения, задаваемые в виде нечисловой информации, полученной путем обработки данных экспертных опросов;

б) Разработан и реализован в виде специальной компьютерной программы алгоритм построения рейтинговой системы при заданных нечисловых ограничениях.

Список публикаций по теме диссертации
Публикации в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ и Scopus

1. Мерзлякова, Н.А. Применение методов математической статистика при системном анализе факторов, влияющих на свойства пленочных нитей. / Н.А. Мерзлякова, Д.В. Вольнова, Н.Н. Рожков// Химические волокна – 2024. - №2. – С.76 – 78.

2. Орлова (Мерзлякова), Н.А. Анализ данных мониторинга высших учебных заведений Санкт-Петербурга за 2014 – 2015 годы методами многомерной статистики / Н.А. Орлова, Н.Н. Рожков, А.В. Демидов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. – 2016. – №3. – С. 11 – 15.

3. Орлова (Мерзлякова), Н. А. Построения рейтинговой оценки вузов РФ на основе данных мониторинга их эффективности. / Н.А. Орлова, Н.Н. Рожков, А.В. Демидов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. – 2018. – №2. – С. 3 – 14.

4. Мерзлякова, Н.А. Построение рейтинговых систем оценки университетов. / Н.А. Мерзлякова // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: промышленные технологии. – 2023. – №4. – С. 35 – 41.

Прочие публикации

5. Орлова (Мерзлякова), Н.А. Комплексное оценивание эффективности деятельности научно-педагогических работников ВУЗов / Н.А. Орлова // Материалы Международной научно-практической конференции «Инновационное развитие и кадровый потенциал молодежной и социальной сферы», Санкт-Петербург, 21 – 23 ноября 2013 года, – 2013. – С. 272 – 274.

6. Орлова (Мерзлякова), Н.А. Комплексная оценка эффективности деятельности высших учебных заведений на основе мониторинга ее показателей / Н.А. Орлова // Материалы Международной научно-методической конференции «Математика в ВУЗе и в школе», Псков, 25 – 27 июня 2015 года, – 2015. – С. 272 – 274.

7. Орлова (Мерзлякова), Н.А. Исследование данных мониторинга высших учебных заведений Санкт-Петербурга методами корреляционного анализа/ Н.Н. Рожков, Н.А. Орлова // Материалы VIII международной научно-практической конференции «Государство и бизнес. Современные проблемы экономики», Санкт-Петербург, 20 – 22 апреля 2016 г., – 2016. – С. 123 – 128.

8. Орлова (Мерзлякова), Н.А. Анализ главных компонент показателей мониторинга высших учебных заведений Санкт-Петербурга за 2016 год/ Н.Н. Рожков, Н.А. Орлова // Материалы IX международной научно-практической конференции «Государство и бизнес. Современные проблемы экономики», Санкт-Петербург, 19 – 21 апреля 2017 г., – 2017. – С. 66 – 73.

9. Орлова (Мерзлякова), Н.А. Анализ показателей мониторинга высших учебных заведений Санкт-Петербурга за 2014 – 2016 годы с использованием методов многомерной статистики / Н.А. Орлова // Вестник молодых ученых СПГУТД. – 2017. – №1. – С. 322 – 328.

10. Орлова (Мерзлякова), Н.А. Построение рейтинга высших учебных заведений на основе методов многомерной статистики/ Н.Н. Рожков, Н.А. Орлова // Материалы X

международной научно-практической конференции «Государство и бизнес. Современные проблемы экономики», Санкт-Петербург, 25 – 27 апреля 2018 г., – 2018. – С. 89 – 93.

11. Орлова (Мерзлякова), Н.А. Модель комплексной оценки эффективности вуза на основе данных мониторинга / Н.А. Орлова // Материалы Международной научно-практической конференции «Молодежная политика России в контексте глобальных мировых перемен» Санкт-Петербург, 22 – 24 ноября 2018 года, – 2018. – С. 293 – 296.

12. Российские университеты в условиях цифровизации: математические и инструментальные методы оценки качества управления : монография под. ред. В.Г. Халина / Е.М. Анохина, В.А. Бакотин, Н.А. Орлова (Мерзлякова) [и др.]. – М. : Изд-во Проспект, 2019. – 896 с.

13. Орлова (Мерзлякова), Н.А. Математическая модель комплексной оценки эффективности вуза на основе нечеткой информации об относительной значимости показателей. / Н.Н. Рожков, Н.А. Орлова / Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. – 2019. – №2. – С. 3 – 8.

14. Орлова (Мерзлякова), Н. А. Построение и анализ рейтинговых оценок ведущих вузов Санкт-Петербурга и Москвы на основе данных ежегодного мониторинга эффективности. / Н.Н. Рожков, Н.А. Орлова // Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – №6(96). – С. 80 – 84

15. Серегина, П.А. Сравнительный анализ эффективности вузов текстильной направленности на основе данных мониторинга/ П.А. Серегина, рук. Н.А. Мерзлякова // Тезисы докладов Всероссийской научной конференции молодых ученых «Инновации молодежной науки», Санкт-Петербург, 20-24 апреля 2020 года, - 2020. – С. 80 – 81.

16. Мерзлякова, Н.А. Риски управления программой стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» / В.Г. Халин, Г.В. Чернова, Н.А. Мерзлякова // Материалы XXVII Международной научно-практической конференции «Системный анализ в проектировании и управлении» Санкт-Петербург, 13 – 14 октября 2023 года, – 2023. – С. 293 – 296.

Свидетельства регистрации программы для ЭВМ

17. Свидетельство № 2024663824. Расчет весовых коэффициентов в моделях линейной свертки, отражающей значимость показателей : программа для ЭВМ / Н.А. Мерзлякова, Н.Н. Рожков, В.А. Асонов, Р.Д. Рословец (RU) ; правообладатель ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» (RU) № 2024662343 ; заявл. 30.05.2024 ; опубл. 11.06.2024, 615 КБ

18. Свидетельство № 2024666247. Построение рейтинговой системы на основе совокупности показателей с заданной для них системой нечисловых и нечетких ограничений : программа для ЭВМ / Н.А. Мерзлякова, Н.Н. Рожков, В.А. Асонов, Р.Д. Рословец (RU) ; правообладатель ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» (RU) № 2024663592 ; заявл. 14.06.2024 ; опубл. 11.07.2024 Бюл. №7, 2,4 МБ