

# Программа на основе байесовской модели рейтингового оценивания и возможности ее практического использования

Г. А. Хамчиев<sup>1</sup>, Г. И. Кожомбердиева<sup>2</sup>

*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I*

<sup>1</sup>gyqn@yandex.ru, <sup>2</sup>kgi-liizht@yandex.ru

**Аннотация.** Доклад посвящен программе для группового экспертного рейтингового оценивания, а также возможностям ее практического применения в задачах рейтингования. В основе программы лежит оригинальная авторская байесовская модель. Результатом оценивания группой экспертов каждого ранжируемого объекта является апостериорное распределение вероятностей на множестве гипотез о ранге этого объекта. Используемые при вычислении апостериорного распределения значения условных вероятностей понимаются как степени соответствия полученных свидетельств (экспертных оценок) предположениям об истинности гипотез. Итоговый рейтинг объектов формируется в результате несложной обработки всех полученных апостериорных распределений. Программа, написанная на языке Java, может использоваться для решения широкого круга задач рейтингового оценивания объектов группой экспертов. В докладе обсуждаются возможности использования программы, в том числе в риск-менеджменте.

**Ключевые слова:** рейтинг; ранжирование; групповое экспертное рейтинговое оценивание; формула Байеса; байесовская вероятностная модель; язык программирования Java

## I. ВВЕДЕНИЕ

Проблема ранжирования рассматривалась еще в 18 веке, когда французские ученые Кондорсе и Борда предложили свои подходы к организации системы голосования [1–3].

Под *рангом* некоторого объекта понимается порядковый показатель, отражающий его значимость и характеризующий его место среди других объектов. *Ранжирование* можно определить как процедуру определение порядка объектов в соответствии с рангом. *Рейтингом* назовем определяемый по специальной методике или путем опроса компетентных экспертов список объектов, расположенных в порядке возрастания рангов (убывания значимости).

В настоящее время ранжирование применяется повсеместно, в том числе и с использованием модифицированных классических подходов, например, для выделения пользовательских предпочтений [4], при распознавании объектов [5], выдаче результатов поиска [6], при анализе данных [7, 8] и т. д. Среди задач этого класса можно выделить ранжирование в контексте рейтингового оценивания некоторого множества объектов экспертной группой.

Экспертиза является частным случаем коллективного принятия решений – принятием решения малой группой. Под групповым выбором понимается выработка

согласованного решения о порядке предпочтения рассматриваемых объектов на основе индивидуальных мнений членов группы.

В докладе представлена программа, реализующая байесовский подход к групповому экспертному рейтинговому оцениванию, а также обсуждаются возможности применения этой программы.

Актуальность работы обусловлена многообразием задач рейтингования в условиях неполных, неточных, нечетких данных, требующих использования при построении рейтингов субъективных оценок экспертов, а также растущим интересом к применению байесовского подхода в областях принятия решения и искусственного интеллекта.

## II. БАЙЕСОВСКАЯ МОДЕЛЬ ГРУППОВОГО ЭКСПЕРТНОГО РЕЙТИНГОВОГО ОЦЕНИВАНИЯ

В основе программы лежит авторская байесовская модель группового экспертного рейтингового оценивания. В модели байесовский подход к решению задач оценивания качества некоторого объекта по множеству показателей на основе субъективных экспертных оценок, предложенный ранее Г.И. Кожомбердиевой, адаптирован к задаче рейтингового оценивания множества объектов группой экспертов.

В данной модели результатом оценивания группой экспертов каждого ранжируемого объекта является апостериорное распределение вероятностей на множестве гипотез о ранге этого объекта. Эксперты группы имеют право, в случае неуверенности, присваивать оцениваемому объекту два (возможно, более) смежных рангов, т. е. приносить элементы неопределенности при назначении рангов.

Используемые при вычислении апостериорного распределения значения условных вероятностей понимаются как степени соответствия полученных свидетельств (экспертных оценок) предположениям об истинности гипотез. Условные вероятности вычисляются как отношения числа экспертов, присвоивших объекту определенный ранг, к общей численности группы экспертов.

Расчет апостериорного распределения производится по формуле (1):

$$P_i(H_l | e_{(i)}^{(l)}) = \frac{P_i(e_{(i)}^{(l)} | H_l) \cdot P_i(H_l)}{\sum_{s=1}^k P_i(e_{(i)}^{(s)} | H_s) \cdot P_i(H_s)}; \quad (1)$$

где  $H_l$  – гипотеза о том, что произвольному объекту  $x$  из группы  $X$  присвоен ранг  $\rho(x_i) = l, l = \overline{1, k}$ ;  $P_i(H_l)$  – априорная вероятность истинности гипотезы о том, что  $\rho(x_i) = l$ ;  $P_i(H_l | e_{(i)}^{(l)})$  – апостериорная вероятность истинности гипотезы о том, что  $\rho(x_i) = l$ , пересмотренная в связи с имеющимися свидетельствами  $e_{(i)}^{(l)}$  о назначении объекту  $x_i$  ранга  $l$  некоторым подмножеством экспертов, а  $P_i(e_{(i)}^{(s)} | H_s)$  – условная вероятность, интерпретируемая как степень соответствия предположению об истинности гипотезы о том, что  $\rho(x_i) = s$ , полученных свидетельств  $e_{(i)}^{(s)}$  о присвоении объекту  $x_i$  ранга  $s$  некоторым (возможно, пустым) подмножеством экспертов. Она вычисляется через отношение числа экспертов, присвоивших объекту  $x_i$  ранг  $s$ , к общей численности группы экспертов.

Если априорное распределение  $\{P_i(H_l)\}$  является равномерным, то формулу (1) можно переписать в следующем виде:

$$P_i(H_l | e_{(i)}^{(l)}) = \frac{P_i(e_{(i)}^{(l)} | H_l)}{\sum_{s=1}^k P_i(e_{(i)}^{(s)} | H_s)}; \quad (2)$$

$$l = \overline{1, k}, i = \overline{1, N}.$$

Итоговый рейтинг объектов формируется в результате несложной математической обработки всех полученных для оцениваемых объектов апостериорных распределений по формуле (3). Выявляется объект с номером  $i^*$ , имеющий максимальную сумму вероятностей для рангов  $1, \dots, l$ , начиная с  $l = 1$ . При этом объекты  $x \in X$ , которым итоговый ранг  $\rho^*(x)$  уже присвоен, исключаются из дальнейшего рассмотрения:

$$\rho^*(x_{i^*}) = l;$$

$$i^* = \arg \max_{i \in \overline{1, N}} \left\{ \sum_{s=1}^l P_i(H_s | e_{(i)}^{(s)}) \right\} \quad (3)$$

$$l = \overline{1, k}.$$

С целью разрешения возможных коллизий можно учитывать коэффициенты компетентности экспертов, а при необходимости выполнять многоаундовое оценивание, в рамках которого апостериорные вероятности, полученные в текущем раунде, используются в качестве априорных при вычислениях в следующем раунде.

Модель впервые была представлена авторами на студенческой научной конференции [9] в 2019 году. Наиболее полно модель и разработанная на ее основе программа представлены в работах с участием Д.П. Буракова [10–13]. Программа зарегистрирована в Реестре программ для ЭВМ Роспатента [13].

### III. ПРОГРАММА ДЛЯ ГРУППОВОГО ЭКСПЕРТНОГО РЕЙТИНГОВОГО ОЦЕНИВАНИЯ НА ОСНОВЕ БАЙЕСОВСКОЙ МОДЕЛИ

Рассматриваемая программа предназначена для осуществления группового экспертного рейтингового оценивания объектов любой природы на основе байесовской модели, представленной выше. Программа написана на языке Java с использованием JDK 1.8 в интегрированной среде разработки NetBeans 8.2. Она

имеет удобный и простой графический пользовательский интерфейс на основе стандартных визуальных компонентов библиотеки Swing, входящей в Java API. Присутствует локализация на русский и английский языки.

Графический интерфейс предоставляет оператору возможность указать членов экспертной группы, производящей оценивание, перечень объектов, подлежащих ранжированию, компетентность экспертов и количество мест в итоговом рейтинге. Вид окна программы представлен на рис. 1.

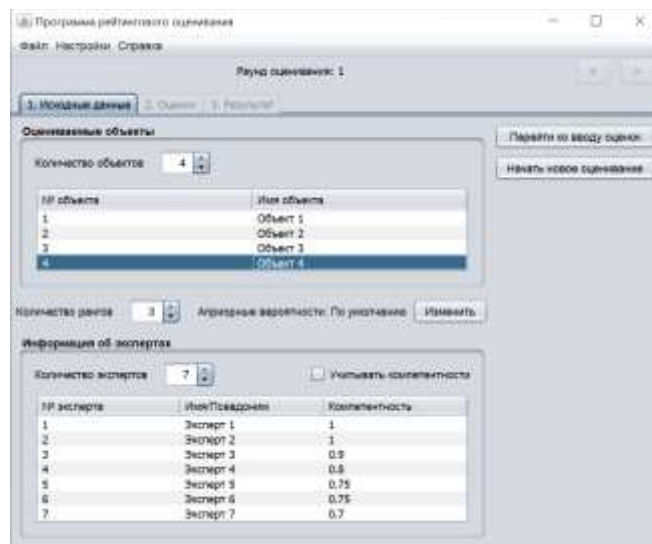


Рис. 1. Вид окна программы

В процессе оценивания эксперты вводят ранги, присвоенные ими оцениваемым объектам, которые рассматриваются в качестве свидетельств в пользу соответствующих байесовских гипотез о ранге объекта. В случае неуверенности эксперт может указать для любого оцениваемого объекта диапазон смежных рангов. Расстояние между граничными рангами в диапазоне по умолчанию равно единице, но это значение может быть изменено в настройках.

Возможность присваивания экспертами оцениваемым объектам диапазона смежных рангов, с одной стороны, упрощает экспертам процесс ранжирования, поскольку освобождает их от необходимости жесткой расстановки объектов по местам в рейтинге. С другой стороны, привносимая неопределенность может повлиять на итоговый рейтинг и привести к возникновению коллизий. Коллизии, однако, можно разрешить, изменив значения компетентностей экспертов, сузив или отменив диапазон смежных рангов и выполнив повторный раунд оценивания для ранжируемых объектов.

Режим многоаундового оценивания, поддерживаемый программой, может быть использован не только при выявлении коллизий, но и при ранжировании объектов несколькими независимыми группами экспертов, а также при последовательном ранжировании объектов по нескольким критериям.

Однако, как показывает опыт, такое применение оправдано далеко не всегда. Так, например, если для некоторого объекта оценки всех экспертов группы №1 (в 1-м раунде оценивания) будут свидетельствовать в

пользу только некоторого подмножества гипотез о ранге и при этом явно расходятся с оценками экспертов группы №2 (во 2-м раунде оценивания), то полная вероятность в знаменателе формулы (1) примет значение 0. Невозможность получения в качестве результата 2-го раунда апостериорного распределения вероятностей приведет к исключению объекта из рейтинга. Аналогичная проблема может возникнуть при оценивании объекта по нескольким независимым показателям одной группой экспертов. Такая ситуация является основанием для ЛПР отказаться от многораундовой процедуры оценивания и, например, использовать в одном раунде оценки, полученные от всех экспертов нескольких групп (либо оценки по нескольким показателям всех экспертов одной группы).

Отметим, что в программе предусмотрено: сохранение настроек оценивания в файле и считывание их из файла; экспорт результатов оценивания в текстовый файл отчета.

#### IV. ПРИМЕРЫ ВОЗМОЖНОГО ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММЫ

Программа может быть использована для ранжирования некоторого множества объектов на основе голосов, полученных от экспертов. Используемый байесовский подход позволяет перейти от субъективных оценок отдельных экспертов группы к более объективному групповому рейтингу оцениваемых объектов. К примерам задач, которые могут быть решены подобным способом, можно отнести: составление рейтингов участников творческих и профессиональных конкурсов (в частности, корпоративных конкурсов ОАО «РЖД»), выбор наиболее оптимальных решений на основе мнений группы экспертов, составление рейтингов, предусмотренных системами менеджмента качества различных учреждений, и т. д.

Для решения подобных задач достаточно поручить экспертам, привлеченным в команду оценщиков (например, в жюри конкурса) составить рейтинги оцениваемых объектов. Далее ЛПР (лицо, принимающее решение) или оператор (по поручению ЛПР) может ввести эти оценки в программу для расчета итогового результата.

Приведем примеры возможного применения программы, которые представляются авторам интересными.

##### **Пример 1. Лабораторная работа «Групповое рейтинговое оценивание».**

Программа внедрена Д.П. Бураковым в учебный процесс в ПГУПС в качестве программного инструмента, используемого для выполнения лабораторной работы по групповому рейтинговому оцениванию в рамках курса «Системы поддержки принятия решений».

Отчет по выполненной работе включает: перечень объектов для оценивания; состав экспертной группы; назначенные компетентности экспертов; используемый критерий оценивания; оценки экспертов и результаты двухраундовых оцениваний с/без учета компетентности экспертов; сравнение результатов оцениваний и выводы по работе.

##### **Пример 2. Ранжирование рисков в испытательных лабораториях**

**Актуальность.** Согласно межгосударственному стандарту ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий» испытательные лаборатории, которые действуют в различных отраслях промышленности, в том числе на железнодорожном транспорте, обязаны включать в свою систему менеджмента документированную процедуру, описывающую действия по управлению рисками.

**Известная процедура.** В соответствии с рекомендациями, опубликованными в статье методического характера [14], оценка рисков в испытательной лаборатории предполагает установление причин и источников рисков, а также вероятностей событий рисков и тяжести их последствий. В статье приводятся примерный перечень событий и причин рисков (15 наименований), шкалы для оценивания вероятностей (примерных частот возникновения) и тяжести последствий рисков методом экспертных оценок, а также известный принцип определения уровня риска (очень высокий, высокий, средний, низкий) на основе вычисления произведений оценок вероятности и тяжести последствий и использования матрицы (карты) рисков [14, 15].

**Предлагаемая процедура.** Ответственный менеджер (ЛПР) отбирает группу экспертов, перед которыми ставится задача ранжирования ранее идентифицированных рисков по вероятности возникновения и тяжести последствий в соответствии с представлением каждого эксперта о технологических процессах, структуре управления, документообороте, персонале испытательной лаборатории.

Каждый эксперт группы ранжирует риски по вероятности возникновения и тяжести последствий и документирует результаты. Подготовленные экспертами индивидуальные рейтинги рисков передаются ЛПР, который организует двухраундовое оценивание рисков, используя в качестве инструментария программу группового экспертного рейтингового оценивания на основе байесовской модели.

В первом раунде оценивания оператором вводятся в программу индивидуальные экспертные рейтинги рисков по вероятности возникновения. После выполнения расчетов в соответствии с байесовской моделью программа выводит рейтинг рисков по итогам первого раунда. Во втором раунде оценивания используются индивидуальные экспертные рейтинги по тяжести последствий. В результате работы программы формируется итоговый рейтинг рисков.

ЛПР делит итоговый рейтинг на четыре зоны, соответствующие установленным уровням риска (очень высокий, высокий, средний, низкий). Затем для каждого риска оформляется паспорт, производится разработка плана мероприятий по снижению уровней рисков.

#### V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В докладе представлена программа для группового экспертного рейтингового оценивания на основе авторской байесовской модели. Обсуждаются возможности ее практического применения в задачах

рейтингования, в том числе для ранжирования рисков в процессе риск-менеджмента в испытательных лабораториях.

Программа имеет следующие преимущества, обусловленные лежащей в ее основе байесовской моделью:

- возможность нечеткого ранжирования объектов отдельными экспертами, которое позволяет повысить комфортность условий работы команды экспертов за счет предоставления им права привносить элементы неопределенности при назначении смежных рангов оцениваемым объектам;
- встроенная возможность применения многоаундового оценивания объектов, в рамках которого апостериорные вероятности, полученные в текущем раунде, используются в качестве априорных при вычислениях в следующем раунде.

Следует отметить, что групповое экспертное рейтинговое оценивание на основе формулы Байеса (как и любые известные способы) вследствие особенностей коллективного выбора, отмеченных в известной теореме Эрроу [1–3], может приводить к коллизиям. Повторный раунд оценивания, наряду с традиционным способом учета неравной компетентности экспертов (использованием соответствующих компетентностям долей голосов), позволяет гибко устранять возможные коллизии.

Кроме того, многоаундовое оценивание может быть использовано при наличии нескольких независимых групп экспертов (или задействовании нескольких различных критериев оценивания), но в случае ярко выраженной противоречивости оценок, полученных от разных групп экспертов (или по разным показателям от экспертов одной группы) построение итогового рейтинга становится невозможным. Такая ситуация является основанием для ЛПР отказаться от многоаундового оценивания и, например, вернуться к объединению всех полученных экспертных оценок в однораундовой процедуре.

Байесовская модель и опыт ее программной реализации прошли апробацию на Международных конференциях по мягким вычислениям и измерениям SCM'2019 и SCM'2021 [10, 12]. Программа зарегистрирована в Реестре программ для ЭВМ Роспатента [13] и внедрена в учебный процесс в ПГУПС. Планируется использование программы в процессе риск-менеджмента в Испытательном центре железнодорожной автоматики и телемеханики (ИЦ ЖАТ ПГУПС).

## БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы искренне признательны доценту кафедры «Информатика и информационная безопасность» ПГУПС Д.П. Буракову за ценное участие в разработке модели и программы, а также за внедрение программы в учебный курс «Системы поддержки принятия решений».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Young H.P. Condorcet's Theory of Voting, *American Political Science Review*, Vol. 82, Iss. 4, pp. 1231–1244.
- [2] Колбин В.В. Математические методы коллективного принятия решений: Учебное пособие. СПб: Лань, 2015. 256 с.
- [3] Микони С.В. Многокритериальный выбор на конечном множестве альтернатив: Учеб. пособие. СПб: Лань, 2009. 272 с.
- [4] Pei Ch., Zhang Y., Zhang Y., Sun F., Lin X., Sun H., Wu J., Jiang P., Ge J., Ou W., Pei D. Personalized Re-ranking for Recommendation. In *Proceedings of the 13th ACM Conference on Recommender Systems*, 2019, pp. 3–11. DOI: <https://doi.org/10.1145/3298689.3347000>
- [5] Qian Q., Chen L., Li H., Jin R. DR Loss: Improving Object Detection by Distributional Ranking. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Seattle, WA, USA, 14–19 June 2020; pp. 12164–12172.
- [6] Robertson S. A Brief History of Search Results Ranking, *IEEE Annals of the History of Computing*, 2019. Vol. 41, pp. 22–28.
- [7] Orouskhani M., Shi D., Cheng X. A Fuzzy Adaptive Dynamic NSGA-II With Fuzzy-Based Borda Ranking Method and its Application to Multimedia Data Analysis, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Vol. 29, No. 1, pp. 118–128, Jan. 2021.
- [8] Bhattacharya S., Raju V. Analysis of Factors Affecting Customer Satisfaction in E-commerce Applications using Condorcet - ANP Method, *International Journal of Internet Protocol Technology*, 2019, Vol. 12, No. 1, pp. 2–10. DOI: <http://doi.org/10.1504/IJPT.2019.098486>
- [9] Хамчичев Г.А., Кожомбердиева Г.И. Байесовский подход к решению задачи рейтингового оценивания и его программная реализация // *Транспорт: проблемы, идеи, перспективы: сборник трудов LXXIX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*. СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2019. С. 319–323.
- [10] Кожомбердиева Г.И., Бураков Д.П., Хамчичев Г.А. Использование формулы Байеса при групповом экспертном рейтинговом оценивании // *Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям*. 2019. Т. 1. С. 43–46.
- [11] Кожомбердиева Г.И., Бураков Д.П., Хамчичев Г.А. Реализация группового экспертного рейтингового оценивания на основе формулы Байеса // *Мягкие измерения и вычисления*. 2019. № 11 (24). С. 4–16.
- [12] Кожомбердиева Г.И., Бураков Д.П., Хамчичев Г.А. Опыт программной реализации авторских вероятностных моделей на основе формулы Байеса // *Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям*. 2021. Т. 1. С. 61–64.
- [13] Хамчичев Г.А., Кожомбердиева Г.И., Бураков Д.П. Программа для группового экспертного рейтингового оценивания на основе байесовской модели. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № RU2021613914 от 16.03.2021.
- [14] Болдырев И.В., Селиванова Т.Я., Шевелева В.И. Управление рисками и возможностями в испытательной лаборатории // *Контроль качества продукции*. 2018. № 12. С. 4–12.
- [15] Фомичев А.Н. Риск-менеджмент: Учеб. для бакалавров / 4-е изд. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2016. 372 с.