

УДК 519.816:004.89

Многокритериальная оценка проектов больших сложных систем методом агрегированных рандомизированных индексов с предпочтениями

Multi-criteria evaluation projects of large complex systems using method of aggregated randomized indexes with preferences

Разумов / Razumov D.

Дмитрий Анатольевич

(DmitriRazumov@yandex.ru)

кандидат технических наук.

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт

(национальный исследовательский университет)»,

старший преподаватель кафедры системного анализа и управления.

г. Москва

Ключевые слова: поддержка принятия решения – decision support; многокритериальный анализ – multi-criteria decision making; балансировка портфеля проектов – project portfolio balancing; мониторинг состояния портфеля проектов – project portfolio status monitoring; рандомизированные индексы – randomized indexes.

В рамках управления программой или портфелем проектов космической корпорации, а также при реализации проектов больших сложных систем возникает проблема оценки полученных результатов с учётом множества критериев. Необходимо иметь средства, позволяющие вовремя получать информацию для принятия оптимальных решений. Используемые подходы не свободны от недостатков, среди которых зависимость от субъективизма экспертов и от сложной, длительной и неоднозначной процедуры формализации экспертного мнения. В статье предлагаются новые методы многокритериального анализа, позволяющие решить эту проблему в условиях, когда количество критериев достаточно велико.

Within the framework of managing a program or project portfolio of a space corporation, as well as by implementing projects of large complex systems, arises the problem of evaluating the results obtained taking into account a variety of criteria. It is necessary to have the means to receive information at the right time in order to make optimal decisions. The approaches used are not free from disadvantages, including dependence on the subjectivity of experts and on a complex, lengthy and ambiguous procedure for formalizing expert opinion. The article proposes new methods of multi-criteria analysis to solve this problem in conditions where the number of criteria is large enough.

Введение

Важнейшей задачей при реализации проектов больших сложных систем является проблема сравнения полученных результатов с учётом множества критериев. Например, циклы Agile требуют квалифицированной оценки результатов проектирования систем на каждом этапе по множеству показателей, оказывающих влияние на проектирование системы, её разработку и функционирование. Задача оптимизации портфеля проектов крупной корпорации также соответствует этому определению. Существующие подходы, несмотря на широкое применение, не свободны от недостатков, среди которых можно перечислить зависимость решений от субъективизма экспертов и в большинстве случаев от сложной, длительной и неоднозначной процедуры формализации экспертного мнения. Часто возникают проблемы со сходимостью мнений экспертов и обеспечением заданного уровня достоверности результатов экспертизы.

Автор предлагает метод, который даёт возможность снизить субъективизм и повысить скорость принятия решений, особенно в условиях большого количества критериев оценки. В качестве практического примера рассматривается система поддержки принятия решения (СППР) для приоритизации проектов Федеральной космической программы (ФКП).

Описание проблемы

Анализируя научно-техническую литературу в области принятия многокритериальных решений можно отметить, что в настоящее время создан мощный методологический фундамент как учёными отече-

ственной школы, так и зарубежными авторами. Среди них следует перечислить О. И. Ларичева, В. В. Подиновского, Ю. Б. Гемейера, И. Ф. Шахнова, В. Парето, Т. Саати, П. Фишберна и других. Разработанные ими методы дают возможность уйти от вербальных формулировок экспертов к их численным интерпретациям и получать количественные оценки для сравнения альтернатив, что несколько снижает неопределённость в вопросах многокритериального выбора. Общим свойством указанных методов является то, что они базируются на субъективизме экспертного мнения. Это обстоятельство предъявляет к руководителям или лицам, принимающим решение (ЛПР), повышенные требования по вопросам организации и оценки самих экспертных сообществ с точки зрения их компетентности и субъективизма. Таким образом, проблема снятия неопределённости через формализацию экспертного мнения сама создаёт в значительной степени следующую неопределённость, связанную с субъективизмом экспертов.

Для преодоления проблемы профессором С. А. Пиявским был предложен метод уверенных суждений (МУС) [1]. Тем не менее, несмотря на то, что сама идея метода была полностью революционной на тот период времени и позволяла действительно во многом отойти от экспертной поддержки при принятии решений, она не включала подробного описания универсального алгоритма его практической реализации (в работах описывались лишь частные случаи для незначительного количества критериев). При анализе реализации, которая была предложена в [2, 3, 4] на основе рекурсивной процедуры моделирования мнений экспертов, выяснилось, что в условиях роста числа оцениваемых альтернатив и, собственно, количества критериев оценки при всех хорошо известных преимуществах метода возникает проблема вычислительной сложности. Последующие публикации по МУС [5] не касались усовершенствования технологии имплементации метода и были посвящены идее расширения его возможностей в область анализа и сопоставления стратегий выбора («уверенных суждений ЛПР») по результатам их применений (расширенный метод уверенных суждений).

Центральная идея МУС заключается в вычислении рейтинга оцениваемой альтернативы на основе оценки вероятности её выигрыша на множестве равновероятных комбинаций коэффициентов важности линейной свёртки (агрегирующей функции). Т. е. базовым инструментом подхода является модель множества мнений экспертов на базе реализации всех возможных комбинаций коэффициентов важности критериев линейной свёртки [2, 3, 4]. Математический аппарат метода предлагает использовать на этом множестве в качестве рейтинга альтернативы оценку вероятности её выигрыша на множестве равновероятных комбинаций экспертных мнений, моделиру-

емых величинами коэффициентов важности параметров агрегирующей функции. Таким образом, преодолевается известная степень неопределённости в единственном варианте метода линейной свёртки, т. к. при оценке весовых коэффициентов экспертами как правило недостаточно информации об их точных значениях.

Если критериев много (более 10), эксперты могут более или менее точно определить ценность нескольких критериев по отношению друг к другу в терминах: « a_1 предпочтительней a_2 и a_3 предпочтительней a_5 », оставляя все остальные оценки на уровне «не определено» или «неточно», «может быть». МУС не только даёт возможность экспертам вносить свои предпочтения точно и гибко для нескольких показателей, оставляя большинство на уровне «не определено», но и моделировать возможные варианты этой неопределённости. Причём неопределённость в оценках предпочтений, их возможные вариации закладываются в модель оценки альтернативы (проекта) как получение частоты его выигрыша на моделируемом множестве оценочных функций, что также важно, т. к. реальные мнения экспертов чаще всего сложно идентифицировать однозначно, и они могут быть распределены в рамках широкого спектра мнений.

При многокритериальной оценке часто бывает так, что имеется вербальная, иногда порядковая, и вместе с тем весьма фрагментарная информация, которая может быть, а может и не быть представлена системой равенств и неравенств для весовых коэффициентов. Обычно эта информация является неполной, т. е. её недостаточно для однозначной оценки всех весовых коэффициентов. При определении важности критериев принято задействовать экспертное сообщество. Общим свойством существующих методик несмотря на их широкое применение является зависимость от субъективизма экспертов и в большинстве случаев от сложной, длительной и неоднозначной процедуры формализации экспертного мнения. Часто возникают проблемы со сходимостью мнений экспертов и обеспечением заданного уровня достоверности результатов экспертизы [2, 3, 4]. В этом смысле характерна проблема, которую приходится решать при оптимизации портфеля проектов крупных корпораций, в частности, ранжировании проектов Федеральной космической программы [4]. Ещё одним примером служит задача оценки выполнения федеральных целевых программ и национальных проектов, при которой критериев оценки может быть значительно больше.

Обозначим неполную, вербальную, неточную, обладающую известной степенью неопределённости информацию о ценности критериев оценки альтернатив (N -information). Если учесть, что информация I о весовых коэффициентах полностью не определена, то и вектор весовых коэффициентов $a=(a(1),...,a(m))$ невозможно определить однозначно. Принято гово-

речь, что в условиях неопределённости N -information вектор $A(I)$ может определяться с точностью до множества всех допустимых (с точки зрения неопределённости N -information I) векторов весовых коэффициентов. Для моделирования такой неопределённости можно использовать концепцию рандомизации, согласно которой неопределённый выбор вектора весов из множества $A(I)$ моделируется случайным выбором элемента из этого множества. Предложенный подход позволяет создать рандомизированный вектор весов $A(I)=(A(1;I), ..., A(m;I))$. Следует также отметить, что этот вектор будет равномерно распределён по множеству $A(I)$.

Оценка математического ожидания randomного весового коэффициента $A(i;I)$ может использоваться в качестве числовой оценки веса конкретного критерия $a(i)$. При этом точность этой оценки будет измеряться стандартным отклонением соответствующей случайной величины. Эти оценки значимости рассматривают как результат количественной оценки в условиях неопределённости на основе N -информации I .

Таким образом, случайный вектор весовых коэффициентов $(A(1;I), ..., A(m;I))$ или $A(I)$ будет приводить к рандомизации агрегирующей функции $F(f(1), ..., f(m)), F(A(I), a(I))$ и преобразованию её в рандомизированный агрегированный индекс $F(I)$, математическое ожидание которого будет являться искомой оценкой качества альтернатив. При этом показатель точности оценки определяется как стандартное отклонение соответствующего случайного индекса.

Метод агрегированных рандомизированных индексов с предпочтениями

В методе агрегированных рандомизированных индексов с предпочтениями (МАРИП или method of aggregated randomized indexes with preferences MARIP) в отличие от традиционного МУС, где используется перебор всех возможных комбинаций из интервала $[0;1]$ с детерминированным заранее шагом h , предлагается ввести рандомизированную процедуру формирования множества $A(i;I)$. Это позволит при достаточно большом значении m – количестве оцениваемых критериев, и N – количестве альтернатив, избежать вычислительной сложности, которая может привести к потере точности при переполнении разрядной сетки и существенному увеличению времени расчётов. Так, например, по формуле (Разумов Д. А. Разработка методики многокритериальной оценки проектов космических средств и систем. / Д.А. Разумов : диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Москва : ФГБОУ ВО Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет), 2021. – 128 с.):

$$K = \frac{(m+1/h-1)!}{(1/h)!(m-1)!}, \quad (1)$$

где h – шаг дробления интервала $[0;1]$, m – количество критериев оценки.

Получается, что количество итераций рекурсивного перебора K для вычисления рейтингов альтернатив при числе критериев оценки $m=30$ и шаге дробления $0,1$ составит 30045014, а при $m=50$ K будет равен 62828356305, т. е. как минимум на 3 порядка (в ≈ 2000) больше, при $m=100$ $K=42634215112710$ – на 6 порядков (в ≈ 1000000) раз больше. При $m=30$ расчёты на параллельных 12 потоках и соответственно 12 ядрах процессора происходят примерно за 6 минут, следовательно, при $m=100$ подобные вычисления будут длиться не менее 100000 часов или 4166 суток, т. е. 11 лет. Для оценки национальных проектов число используемых критериев может составить 50 и более.

Реализация МАРИП

Обозначим множество оценочных функций, моделирующих мнения экспертов, через F_a . Пусть $f(x_i)=f_i, i=\overline{1,N}$ (N – число оцениваемых альтернатив), тогда $F_a=[f_{il}]_{K}$, $l=\overline{1,K}$, где K – общее число вариантов вектора коэффициентов важности критериев, $A=[a^j]_K$ – множество коэффициентов оценочных функций, моделирующих экспертные мнения.

Для того, чтобы оценить каждую альтернативу, вводят на множестве A критерии оценки альтернатив, позволяющие выбирать наиболее предпочтительные из них. В качестве относительной меры (к мере всего множества A) предпочтительности альтернативы при этом рассматривают подмножество, на котором эта альтернатива оказалась наилучшей по значению оценочной функции в сравнении с другими альтернативами. Эту меру называют жёстким рейтингом (HR). В данном случае значение показателя альтернативы i по j -му критерию оценки $f^j(x_i)=x_{ij}$, т. к. это дискретные величины. Оценочную функцию для l -го варианта коэффициентов $\overline{a}_l$ i -й альтернативы определяют по формуле:

$$f_{il} = \sum_{j=1}^m x_{ij} a_l^j, \quad (2)$$

a_l^j – вес (значимость) критерия j ,

$$\sum_{j=1}^m a_l^j = 1, a_l^j \geq 0, j = \overline{1,m}.$$

Жёсткий рейтинг для каждой альтернативы вычисляют по формуле:

$$HR_i = \frac{\sum_{l=1}^K \sum_{i=1}^N B_{il}}{K}, \quad (3)$$

где $l=\overline{1,K}, i=\overline{1,N}$, N – число альтернатив, K – число вариантов реализации вектора коэффициентов линейной свёртки $\overline{a}_l$. $B_{il}=1$, если при l -м варианте моделируе-

мого мнения i -я альтернатива оказалась наилучшей ($f_{il} > f_{kl}$, $k = \overline{1, N} \wedge i \neq k$). Если при каком-либо l лучшими оказываются несколько (например, q) альтернатив, то для жесткого рейтинга каждой альтернативы в числителе (3) добавляют не 1, а $1/q$ ($B=1/q$).

Иными словами, рассматривают отношение суммы всех случаев для тех реализаций оценочной функции, когда альтернатива (проект) оказалась лучшей, к числу всех реализаций (частота «выигрышей альтернативы»). Если придерживаться аналогий с теорией вероятности, то можно заметить, что жесткий рейтинг можно рассматривать как оценку вероятности того, что при всех возможных равновероятных и независимых сочетаниях моделируемых мнений экспертов альтернатива окажется наилучшей.

Если жесткие рейтинги каких-либо вариантов оказались почти одинаковыми или равными нулю, оценивают не только «вероятность» того, что какая-либо из альтернатив будет предпочтительнее на множестве моделируемых экспертных мнений, но и среднюю сравнительную предпочтительность альтернативы по сравнению с другими альтернативами. Для этого используют мягкий рейтинг (SR), который рассчитывают по формуле:

$$SR_i = \frac{\sum_{l=1}^K \frac{f_{il}}{\max_{j=1, \dots, K} f_{il}}}{K}, \quad (4)$$

где $\max f_{il} > f_{kl}$ для $\forall k = \overline{1, N} \wedge i \neq k$.

Нормализацию исходных физических значений показателей выполняют по формуле:

$$x_{ij}^{norm} = (x_{ij} - \min_j(x_{ij})) / (\max_j(x_{ij}) - \min_j(x_{ij})), \quad (5)$$

где i – номер, строки, j – номер столбца матрицы показателей, если тренд показателя «на максимум» (скорость). При тренде на минимум (цена) используют формулу:

$$1 - x_{ij}^{norm}. \quad (6)$$

Для того, чтобы сформировать множество A с помощью генерации полного набора уникальных комбинаций коэффициентов линейной свёртки $[a_i]$ K в МУС используют рекурсивную процедуру. Для подсчёта количества K этих вариантов используют формулу (1).

В случаях, когда бывает необходимо учитывать изначально известные условия о том, что какие-либо критерии имеют преимущество в оценке общего решения, чем другие («уверенные суждения ЛПР»), для реализации многокритериального выбора на множество допустимых альтернатив накладывают отношение предпочтения. Например, при сравнительном анализе проектов космических аппаратов различных производителей необходимо формировать

полезную нагрузку вывода на орбиту максимальным числом КА, так что в любом случае критерий оценки массы всегда более предпочтителен, чем критерий мощности системы электропитания (СЭП). $A^n \subset A$ – подмножество коэффициентов линейной свёртки, которые получает показатель массы КА, $A^n = [a_i^n]_{K, i=1, \dots, K}$. $A^{c^n} \subset A$ – подмножество коэффициентов, которые будет получать показатель системы электропитания КА, соответственно, $a_i^{c^n} \in A^{c^n} = [a_i^{c^n}]_K$. Таким образом, при формировании множества A из него исключают те комбинации a_i^j , в которых не выполняется отношение: $\forall a_i^j \in A: a_i^n > a_i^{c^n}$, $j = \overline{1, m}$ – число показателей. Таким образом, реальное число наборов $[a_i^j]$, формирующее итоговое множество F_a , может быть меньше оценки K (7).

В предлагаемом методе МАРИП в отличие от прототипа (МУС), где используется перебор всех возможных комбинаций из интервала $[0;1]$ с детерминированным заранее шагом, вводят рандомизированную процедуру формирования множества весов $A(i;I)$ или $[a_i^j]_K$. При этом количество итераций (K) можно задавать, исходя из достижения приемлемой точности оценки. Отпадает необходимость прохода по всем шагам рекурсии, чтобы обеспечить равномерное распределение весов в множестве $A(I)$. Это позволяет при достаточно большом значении m – количества оцениваемых критериев, и N – количестве альтернатив, избежать вычислительной сложности, которая может привести к потере точности при переполнении разрядной сетки и существенному увеличению времени расчётов.

Алгоритм МАРИП

Предложенный в статье метод МАРИП алгоритмируется следующим образом, представленном на рис. 1–рис. 3.

Шаг 1. Обоснование рационального множества критериев оценки.

В общем случае выбор критериев для оценки объекта, проекта, альтернативы или системы зависит от конкретной ситуации и формируется на основе деятельности руководителей, специалистов, т. е. лиц, принимающих решение (ЛПР), которые руководствуются информацией, получаемой из технической документации, паспортов проектов, технических характеристик систем, полученных в ходе их эксплуатации, испытаний и т. п. (рис. 1).

При этом ЛПР осуществляют деятельность по следующим направлениям:

- подбор специалистов;
- составление специальных опросных листов (анкет);
- проведение опроса;
- анализ и обработка информации, полученной от специалистов;
- определение размерности и качественного состава вектора частных критериев.

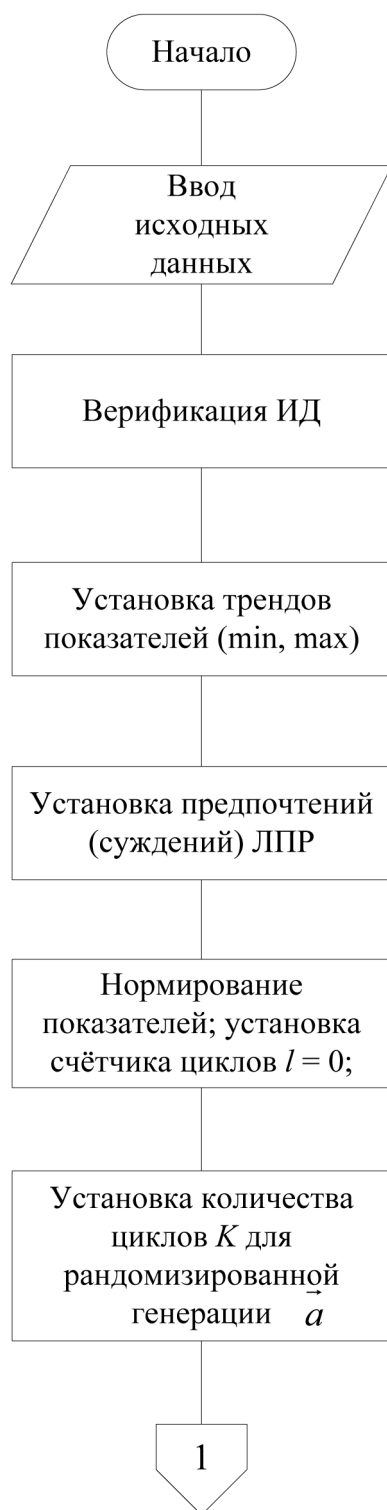


Рис. 1. Часть 1

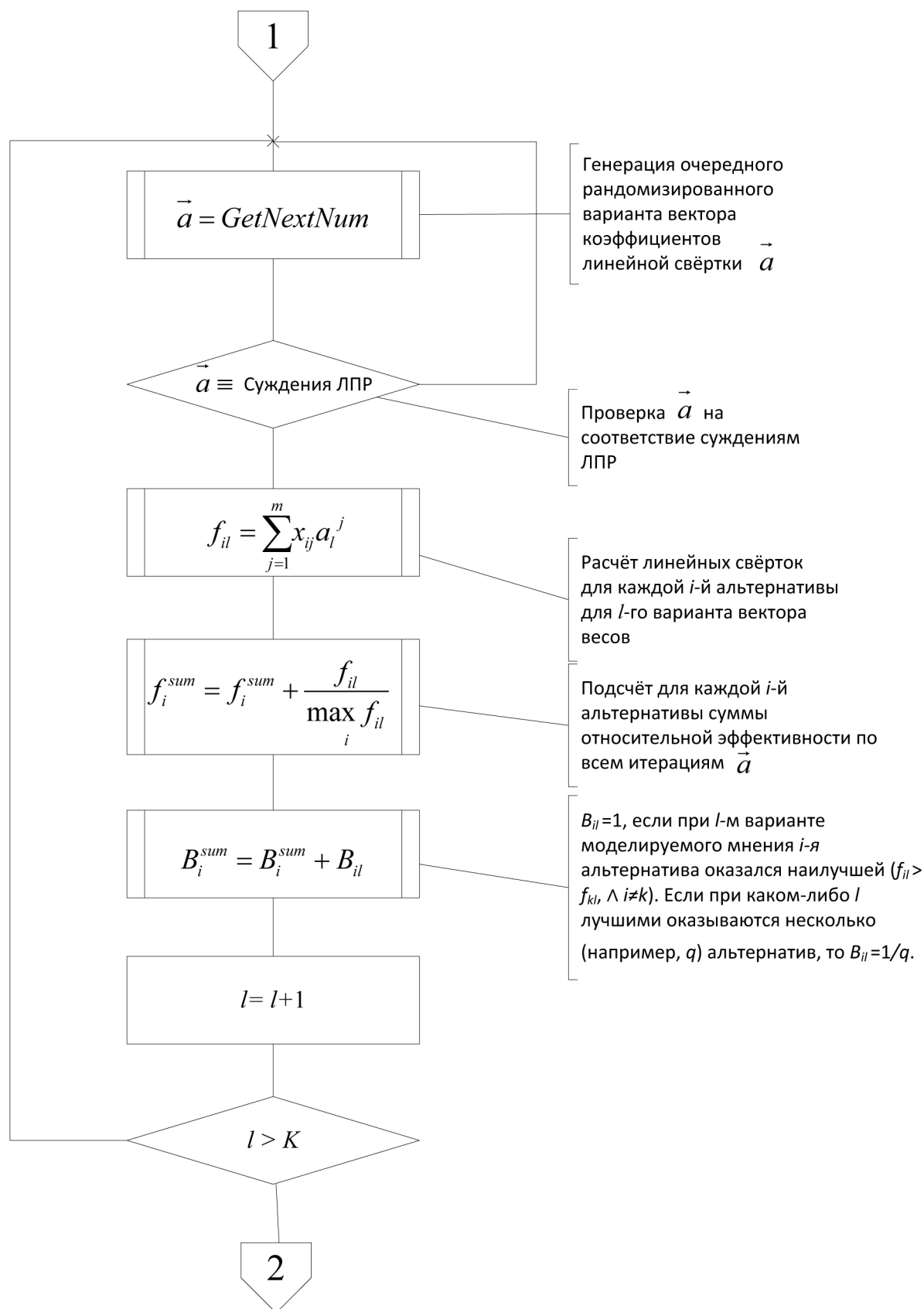


Рис. 2. Часть 2

Таким образом, специалисты определяют состав альтернатив/проектов для оценки, критерии по которым происходит оценка.

Шаг 2. Обоснование рационального множества показателей альтернатив и способов оценки их значений.

В общем случае исходные числовые значения показателей приоритета альтернатив/проектов берут из паспортов этих проектов или рассчитывают на основе данных, содержащихся в паспортах проектов на основании отработанных методик, технических характеристик систем, полученных в ходе их эксплуатации, испытаний и т. п. (рис. 1).

Шаг 3. Ввод исходных данных.

Осуществляют ввод исходных данных, формируют матрицу показателей альтернатив $X[x_{ij}]$, $i=1N$, $j=1m$, проверяют данные на корректность (рис. 1).

Шаг 4. Установка трендов и введение предпочтений ЛПР.

Проводят установку трендов по каждому из критериев в соответствии со здравым смыслом, например, для критерия «скорость» тренд ставят на максимум, т. е. эффективное значение скорости объекта чем больше, тем лучше, а для критерия «финансовые затраты» на минимум, т. е. чем меньше затраты, тем лучше (рис. 1).

В случае необходимости определяют значимость некоторых критериев оценки относительно друг

друга. Способ позволяет накладывать предпочтения на множество критериев оценки проектов точно и гибко, например a_1 лучше a_2 или a_1 лучше a_4 и a_5 , оставляя без идентификации важности те показатели, по которым это сделать затруднительно или невозможно. При этом от ЛПР не требуется никаких балльных интерпретаций своего мнения, достаточно определить предпочтения на уровне суждений «хуже/лучше».

Если анализ производится в условиях отсутствия подобной информации или экспертного мнения, то данный шаг пропускается.

Шаг 5.

Проводят нормализацию данных в соответствии с формулами (5), (6):

Устанавливают счётчик циклов для вычисления вариантов вектора коэффициентов аддитивной свёртки в $\bar{a}_l$ в $0, l=0$ (рис. 1).

Устанавливают предел количества циклов K для вычисления вариантов вектора коэффициентов аддитивной свёртки $\bar{a}_l$.

Шаг 6. Генерация $\bar{a}_l$.

Получают очередной рандомизированный вариант $\bar{a}_l$ (рис. 2). При этом в отличие от способа-прототипа (МУС) все элементы вектора $\bar{a}_l$ a_l^j , $j=1,m$ распределены стохастически равномерно в интервале $[0;1]$ таким образом, что

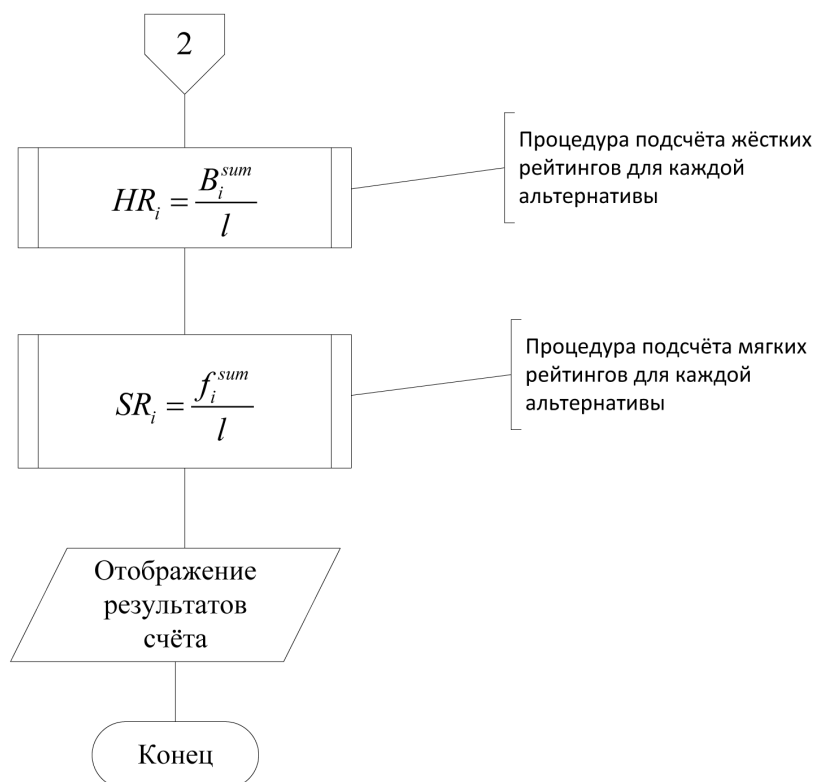


Рис. 3. Часть 3

$$\sum_{j=1}^m a_l^j = 1.$$

Шаг 7. Проверка $\bar{a}_l$ на соответствие предпочтениям ЛПР.

Осуществляют проверку $\bar{a}_l$ на соответствие т. н. предпочтениям или «суждениям» ЛПР (рис. 2). Т. е. для каждого a_l^j проверяют, выполняются ли для него установленные на шаге 4 условия отношений предпочтения ЛПР или нет. Если они выполняются, то переходят на шаг 8, если нет – осуществляется возврат на шаг 6.

Шаг 8. Расчёт линейных свёрток.

Для каждой i -й альтернативы, l -го варианта $\bar{a}_l$ осуществляют расчёт линейной свёртки (рис. 2) по формуле:

$$f_{il} = \sum_{j=1}^m x_{ij} a_l^j. \quad (7)$$

Шаг 9. Подсчёт суммы относительной эффективности.

Сначала определяют максимальное значение $\max f_{il}$ среди всех значений линейных свёрток ($i = \overline{1, N}$) i на уровне итерации l (рис. 2).

Для каждой i -й альтернативы осуществляют подсчёт сумм относительной эффективности по итерациям до l включительно:

$$f_i^{sum} = f_i^{sum} + \frac{f_{il}}{\max_i f_{il}}. \quad (8)$$

Шаг 10. Подсчёт суммы «выигрышей» альтернативы.

Для каждой i -й альтернативы осуществляют подсчёт суммы выигрышей среди всех остальных альтернатив (рис. 2) по l -ю итерацию включительно:

$$B_i^{sum} = B_i^{sum} + B_{il}. \quad (9)$$

$B_{il}=1$, если при l -м варианте моделируемого мнения i -я альтернатива оказалась наилучшей ($f_{il} > f_{kl}$, $k = \overline{1, N} \wedge i \neq k$). Если при каком-либо l лучшими оказываются несколько (например, q) альтернатив, то добавляют не 1, а $1/q$ ($B=1/q$).

Увеличивают счётчик цикла вариантов на 1.

Шаг 11. Проверка счётчика циклов.

Осуществляют проверку на превышение l установленного на шаге 5 предела количества циклов K для вычисления вариантов вектора коэффициентов аддитивной свёртки $\bar{a}_l$ (рис. 2). Если предел превышен, переходят к следующему шагу, если нет – возвращаются на шаг 6.

Шаг 12. Расчёт рейтингов для альтернатив.

Осуществляют расчёт жёсткого рейтинга (рис. 3) для каждой альтернативы:

$$HR_i = \frac{B_i^{sum}}{l}. \quad (10)$$

Осуществляют расчёт мягкого рейтинга для каждой альтернативы:

$$SR_i = \frac{f_i^{sum}}{l}. \quad (11)$$

Шаг 13. Отображение результатов расчёта рейтингов.

Отображают результаты расчёта жёсткого и мягкого рейтингов альтернатив (рис. 3) всевозможными способами, в том числе в виде таблиц, графиков и диаграмм.

Шаг 14. Принятие решение ЛПР.

По результатам расчёта рейтингов альтернатив принимают решение о значимости той или иной из них в контексте решаемой проблемы.

На рис. 4–рис. 6 приведены скриншоты СППР, которая осуществляет многокритериальную оценку проектов космической программы с использованием МАРИП.

Выводы

Следует отметить, что предлагаемый метод агрегированных рандомизированных индексов с предпочтениями, сохраняя все достоинства традиционного МУС:

- снижение зависимости от субъективного экспертного мнения привлекаемых групп специалистов;

- качественно новое свойство оценки приоритета альтернативы по множеству показателей как вероятность того, что она окажется в чистом выигрыше на множестве комбинаций экспертных мнений, моделируемых на множестве различных вариантов предпочтений критериев оценки;

- гибкость в назначении предпочтений ЛПР в терминах групп важности критериев, которая позволяет оставлять за скобками необходимость давать числовые и иные оценки конкретным показателям, для большинства из которых, может отсутствовать какая-либо достоверная или согласованная информация по предпочтениям;

- повышение скорости принятия решения за счёт снижения времени на мероприятия, связанные с организацией обработки экспертного мнения, дополняет его следующими преимуществами:

- значительное сокращение вычислительной сложности реализации метода (при существенном увеличении количества оцениваемых альтернатив и критериев оценки) и в соответствии с этим устранение возможной потери точности за счёт переполнения разрядной сетки;

- существенное снижение времени расчётов при большом количестве критериев и альтернатив;

- вычисление рейтинга альтернативы приобретает полностью классически рандомизированный

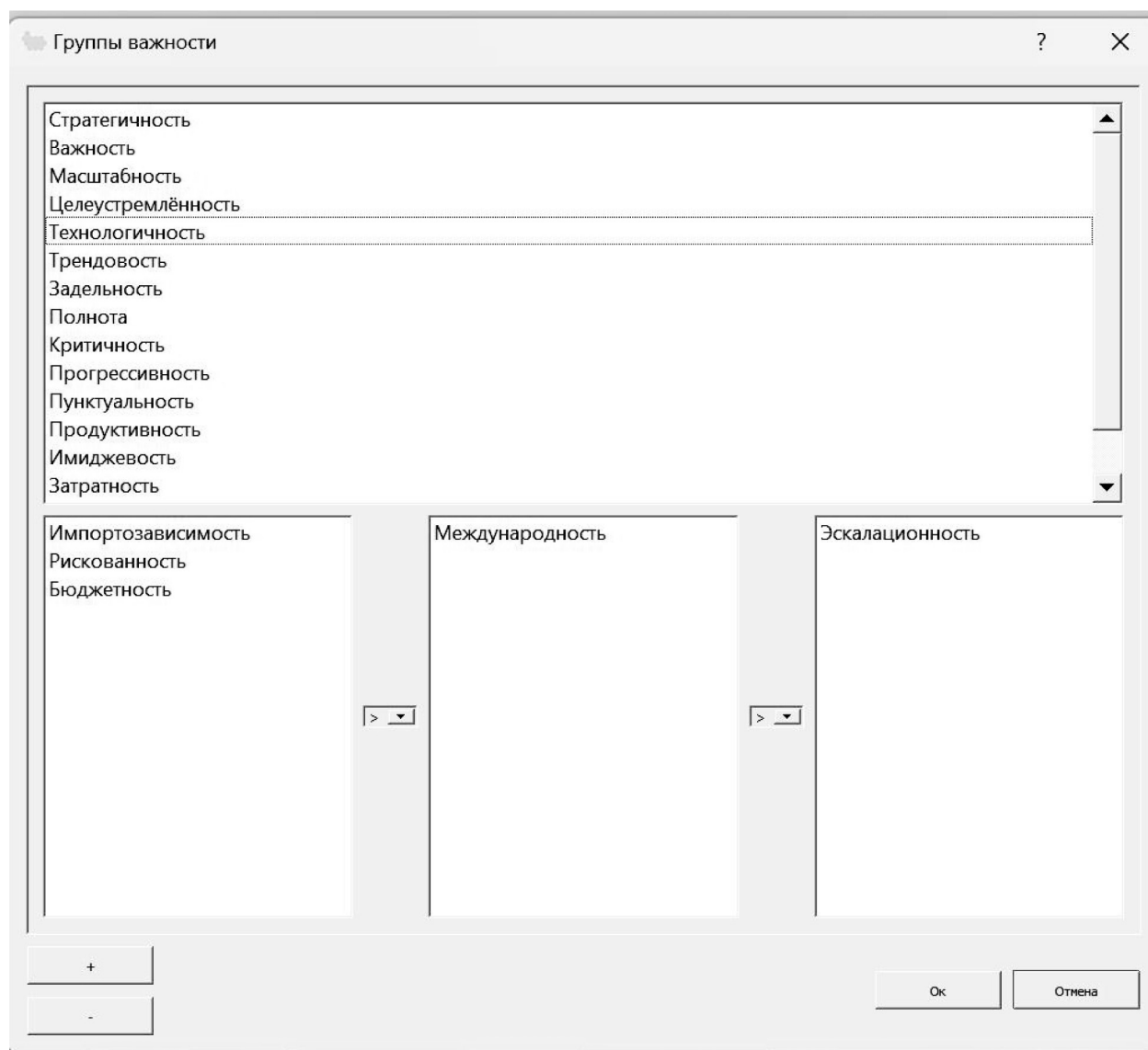


Рис. 4. Задание политики выбора ЛПР с помощью групп важности

Система поддержки принятия решений FileBig 21 x 30 без Грузопоток 00:00:06:188											
Проекты	Стратегичность	Важность	Масштабность	Целеустремлённость	Технологичность	Эскалационность	Трендовость	Задельность	Полнота	Критичность	Про...
Союз-Восток	18	13	10	90	7	15	32	18	13	10	
Енисей	21	11	9	80	6	19	37	21	11	9	
Линза	18	23	11	79	6	16	35	18	23	11	
Радар	14	9	10	76	5	17	40	14	9	10	
Метео-Глоб	17	14	12	81	4	20	39	17	14	12	
Метео-ССО	17	14	12	81	4	20	39	17	14	12	
Партнерство	17	23	12	81	4	20	23	17	14	12	
МКСР	17	14	56	81	4	20	39	17	14	12	
Гонец	17	14	17	44	4	23	39	17	14	12	
Перспектива	17	17	12	81	4	20	39	17	14	12	

Проекты	Мягкий рейтинг	Жёсткий рейтинг	Стратегичность	Важность	Масштабность	Целеустремлённость	Технологичность	Эскалационность	Трендовость	Задельность
Радар	0.965664	0.529323	0.000000	0.000000	0.021277	0.791045	0.333333	0.250000	0.729730	0.000
Енисей	0.921245	0.177444	1.000000	0.142857	0.000000	0.850746	0.666667	0.500000	0.648649	0.368
Сервис	0.864492	0.077607	0.142857	0.785714	0.765957	0.865672	0.000000	0.625000	0.702703	1.000
Сотрудничество-Марс	0.876309	0.077607	0.428571	0.357143	0.063830	0.865672	0.000000	0.625000	0.702703	0.157
МКСР	0.858343	0.076855	0.428571	0.357143	1.000000	0.865672	0.000000	0.625000	0.702703	0.157
Линза	0.804923	0.047368	0.571429	1.000000	0.042553	0.835821	0.666667	0.125000	0.594595	0.210
Астро	0.849625	0.007682	0.428571	0.357143	0.063830	0.865672	0.000000	0.625000	0.702703	0.157
Луна	0.839434	0.002419	0.428571	0.357143	0.063830	0.865672	0.000000	0.625000	1.000000	0.157
Перспектива	0.845784	0.000915	0.428571	0.571429	0.063830	0.865672	0.000000	0.625000	0.702703	0.157
Метео-Глоб	0.840916	0.000163	0.428571	0.357143	0.063830	0.865672	0.000000	0.625000	0.702703	0.157

Рис. 5. Результаты расчётов

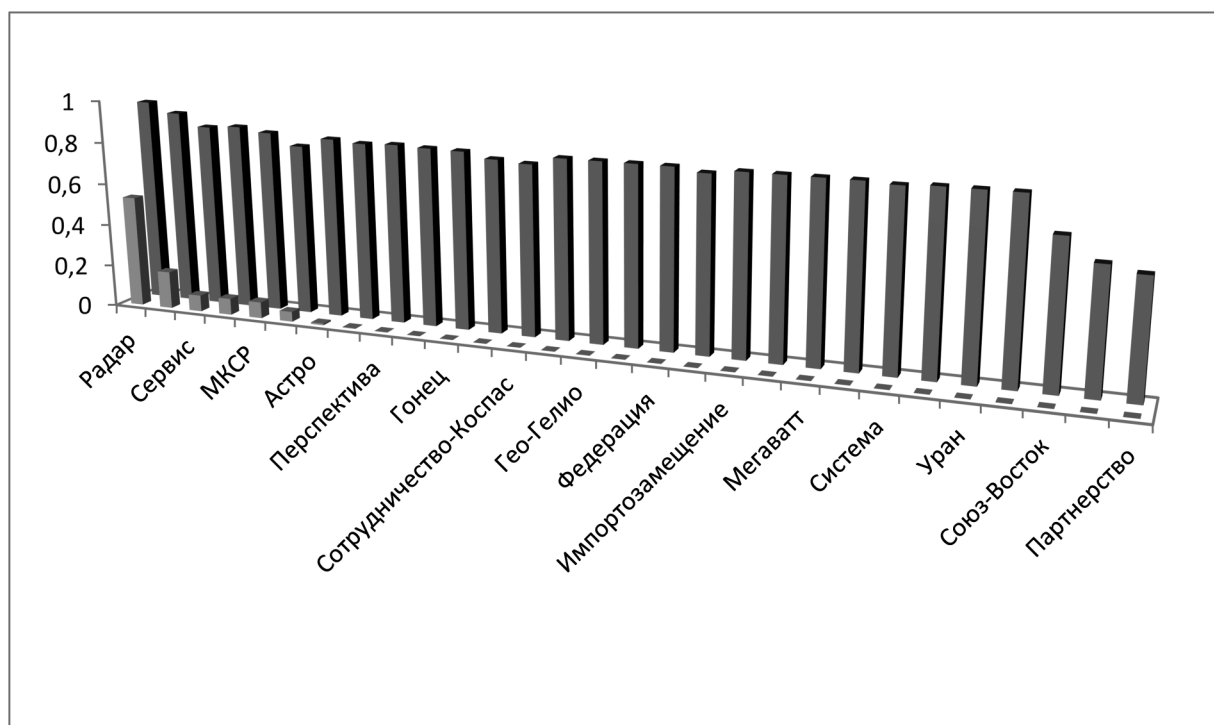


Рис. 6. Графическое представление результатов расчёта

смысл оценки вероятности, а его точность может быть оценена как стандартное отклонение соответствующего случайного индекса.

Литература

1. Малышев, В. В. Метод «уверенных суждений» при выборе многокритериальных решений / В.В. Малышев, С.А. Пиявский // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2015. – № 5. – С. 90–101.
2. Малышев, В. В. Решение задачи многокритериальной оценки проектных решений АСУ космодрома методом уверенных суждений / В.В. Малышев, Д.А. Разумов // Информация и Космос. – 2019. – № 4. – С. 78–82.
3. Разумов, Д. А. Методика многокритериальной оптимизации портфеля проектов больших сложных систем / Д.А. Разумов, В.В. Малышев // Автоматизация в промышленности. – 2023. – № 5. – С. 36–43.
4. Методические аспекты многокритериальной оценки вариантов решения задач управления федеральными программами (проектами) по созданию космической техники с использованием метода уверенных суждений / С.В. Кисель, С.С. Комарчев, Д.А. Разумов [и др.] // Космонавтика и ракетостроение – 2024. – № 2 (135). – С. 101–121.
5. Расширенный метод «уверенных суждений» при выборе многокритериальных решений в условиях многоцелевого подхода / В.С. Брусов, П.О. Корчагин, В.В. Малышев, С.А. Пиявский // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2020. – № 1. – С. 96–108.
6. Присяжнюк, С. П. Вербальная модель формирования единого геоинформационного пространства / С.П. Присяжнюк, Г.К. Осипов, И.В. Чернов // Известия Института инженерной физики. – 2023. – № 3 (69). – С. 44–51.