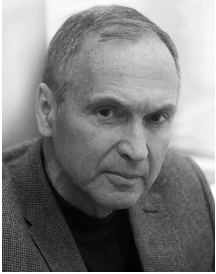


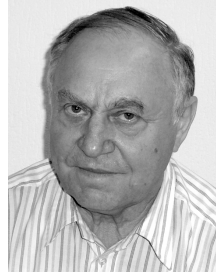
Модели оценки и сопоставления научных и научно-технических проектов

Models for the evaluation and comparison of scientific and scientific-technical projects



С. Ф. Остапюк,

д. э. н., к. т. н., ведущий научный сотрудник,
Институт проблем развития науки РАН, Москва
✉ S.Ostapuyuk@issras.ru



В. П. Фетисов,

к. т. н., доцент, ведущий научный сотрудник,
Институт проблем развития науки РАН, Москва
✉ vpfetisov@yandex.ru



И. С. Остапюк,

аспирант очной формы обучения, Российский
государственный социальный университет,
Москва
✉ IlySeOstapuyuk@rosatom.ru

S. F. Ostapuyuk,

doctor of sciences (economics), PhD in technical
sciences, associate professor, leading researcher,
Institute of problems of science development
of RAS, Moscow

V. P. Fetisov,

PhD in technical sciences, associate professor,
leading researcher, Institute of development
of science of RAS, Moscow

I. S. Ostapuyuk,

full-time postgraduate student, Russian state
social university, Moscow

В статье показаны модели многокритериального ранжирования и выбора научно-технических проектов, представленных на конкурс, учитывающие требования к критериям их оценки, неопределенность их оценок по качественным критериям, весовые коэффициенты значимости критериев и методы их расчета. Модели выбора приоритетных проектов основаны на сочетании комплекса методов сбора и обработки экспертных оценок и нечетких данных, что позволяет снизить субъективизм и неопределенность суждений экспертов по качественным характеристикам проектов за счет их преобразования в числовой вид.

The article shows the models of multi-criteria ranking and selection of scientific and technical projects submitted to the competition, taking into account the requirements for the criteria for their evaluation, the uncertainty of their assessments according to qualitative criteria, the weight coefficients of the significance of the criteria and the methods of their calculation. Models for selecting priority projects are based on a combination of a set of methods for collecting and processing expert assessments and fuzzy data, which makes it possible to reduce the subjectivity and uncertainty of experts' judgments on the qualitative characteristics of projects by converting them into a numerical form.

Ключевые слова: организация оценки проектов, критерии и модели оценки, модели ранжирования проектов, статистика интервальных данных.

Keywords: organization of project evaluation, evaluation criteria and models, project ranking models, interval data statistics.

Введение

Важность совершенствования конкурсного отбора приоритетных научно-технических проектов определяется современными масштабами применения проектного управления в сфере науки и технологий, возросшими темпами затрат на проведение НИОКР и необходимостью снижения проектных рисков не достижения ожидаемых научных результатов. Целью статьи является разработка инструментария, учитывающего риски и нечеткость оценки набора качественных и количественных критериев применимых на этапе сопоставления и ранжирования научных и научно-технических проектов, представленных на конкурс.

1. Модели организации оценки проектов, представленных на конкурс

На этапе формирования конкурсной документации организаторами конкурса: проводится анализ и прогноз потребностей реального сектора экономики в уточнении и развитии научно-технологической политики по тем направлениям, в которых планируется провести конкурс научных и научно-технических

проектов; формулируются цели проведения конкурса в заданном временном периоде, требования к параметрам ожидаемых результатов в определенные временные периоды, необходимому научному оборудованию, квалификации кадров, объему предельно допустимого финансирования, критериям (показателям, параметрам), которым должны соответствовать проекты, представляемые на конкурс. Анализ нормативно-правовых документов, регулирующих формирование перечня критериев оценки проектов, подаваемых на конкурс, показал определенную «свободу» в решении данного вопроса. Субъекты управления научной и научно-технической деятельностью в большинстве случаев самостоятельно определяют критерии оценки сопоставляемых проектов, шкалы оценки объектов экспертизы по количественным и качественным критериям, порядок и модель получения итоговой оценки проектов.

Анализ нормативных правовых документов, регламентирующих порядок выделения соответствующих ресурсов на разработку и реализацию социально-значимых научных и научно-технических проектов и программ, позволил выделить следующие модели экспертной оценки проектов, представленных на конкурс.

курс, каждая из которых может быть дополнена рядом уточняющих обстоятельств:

- «Простая аддитивная модель оценки проектов» — предполагает, что все критерии оценки проектов являются равнозначными между собой для организаторов конкурса и какое-либо «доминирование» одних групп критериев относительно других в конкурсной документации не предусмотрено. Победители конкурса в большинстве случаев определяются по суммарному количеству баллов, полученных заявленным проектом по всем критериям его оценки;
- «Взвешенная аддитивная модель оценки проектов» ориентирована на установление для каждой группы критериев и для каждого критерия в группе соответствующих весовых коэффициентов, отражающих их вклад в общую систему оценки. Такой подход предполагает выделение приоритетных групп критериев и приоритетности критериев внутри группы, по которым заявители должны в большей степени проработать соответствующие вопросы и подготовить необходимую конкурсную документацию. Ограничением такого подхода является прежде всего то, что участники конкурса при подготовке конкурсной документации могут начать ориентироваться в основном на более глубокую проработку вопросов по критериям, имеющим наибольшее значения по их значимости, и в меньшей степени обращать внимание на остальные.

Перечисленные модели, как правило, дополняются уточняющими «ограничениями», призванными снизить нагрузку на рабочие группы по организации экспертиз и экспертов по допуску заявленных проектов к конкурсу и их последующей оценке. Ограничения должны быть отражены в конкурсной документации.

Ответственным за проверку соответствия поданных на конкурс проектов «ограничениям» конкурсной документации является оргкомитет конкурса, осуществляющий ее первичный прием и допуск участников конкурса к последующему его этапу — экспертному отбору лучших проектов. К ограничениям, применимым к конкурсным проектам, могут быть отнесены: территориальные ограничения (участник конкурса, должен быть зарегистрирован в рамках определенного территориального образования); ограничения, связанные с финансово-хозяйственной деятельностью (уставная деятельность участника конкурса должна соответствовать деятельности, предусмотренной конкурсной документацией; отсутствие у организации-заявителя задолженности по уплате налогов и иных обязательных сборов перед государственными организациями и др.); профильные ограничения (тематика заявки должна соответствовать приоритетным направлениям деятельности, определенным в конкурсной документации); ограничения по опыту ранее выполненных работ (стоимость таких работ, должна в целом соответствовать стоимости работ, указанных в конкурсной документации); ограничения, связанные с лицензируемыми видами деятельности (наличие у организации-заявителя допуска к выполнению определенных работ на основании лицензий или сертификации) и др.

Работа экспертов, привлекаемых к оценке проектов, представленных на конкурс, может быть организована по следующим моделям:

- «Нормативная модель организации работы экспертов», предполагает, что все поступившие на конкурс проекты оцениваются экспертами по всем критериям, включенным в конкурсную документацию, единолично. При такой организации работы эксперты должны быть специалистами широкого профиля, оценивающими поступившие заявки по всем критериям и их группам. Такой вариант организации работы экспертов вероятен, если для оценки проектов по некоторым критериям эксперты могут использовать нормативы, на основании которых они могут сопоставлять проекты. Нормативы, отражающие «эталонные» значения критериев оценки, в свою очередь должны иметь определенные обоснования, учитывающие сложившуюся практику развития и регламентацию рассматриваемого направления деятельности. В ином случае конкурентные процедуры не смогут обеспечить равный доступ и условия участия в конкурсе для всех его участников.
- «Детализированная модель организации работы эксперта» предполагает, что за экспертами закрепляется оценка представленных проектов лишь по определенному набору критериев, которые в наибольшей степени соотносятся с направлениями их деятельности. Такой подход позволяет максимально детализировать проработку поступивших на конкурс проектов, но может увеличить количество привлекаемых экспертов и соответственно объем средств на оплату их труда.

2. Модели оценки и ранжирования проектов

Рассмотрим подробнее модели оценки и укрупненный алгоритм ранжирования проектов, представленных на конкурс. Вопросам построения модели многокритериальной оценки проектов, представленных на конкурс, посвящены работы многих авторов [1-9], в которых оценивается целесообразность затрат усилий и ресурсов на осуществление проекта или оценивается практическая полезность ожидаемых результатов проекта.

Практика проведения различного рода конкурсов показывает, что предпочтение отдается наиболее простым и менее трудоемким моделям и методам выбора перспективных проектов. В их основе, как правило, используются экспертные заключения, которые позволяют сравнить проекты по набору количественных и качественных критериев. Следует помнить, что в случае проведения экспертизы проекта по качественным критериям, заключения экспертов, как правило, не строго определенные, а расплывчатые и отражающие качественный (нечисловой) характер оценок. В таких условиях не совсем корректно приписывать оценкам экспертов строго определенные численные значения, так как оценки проектов по качественным критериям нередко субъективны и даются с погрешностью [10]. В связи с этим применяются методы сбора и анализа

нечетких данных, составляющих аппарат теории нечетких множеств [11], позволяющих свести качественные экспертные оценки к количественным оценкам и скорректировать возможные погрешности.

При сопоставлении проектов НИОКР на основе многих локальных критериев, оценки по этим критериям, как правило, объединяют в виде свертки, характеризующей «близость (удаленность) анализируемых проектов к идеальному (лучшему) проекту [5, 6, 9]. При этом, как правило, рекомендуется учитывать набор локальных критериев и их весовые коэффициенты, характеризующие важность (значимость) критериев с учетом принятой научной и научно-технологической политики, целей проведения экспертиз, ее внешних требований и ограничений. Критерии, применяемые для экспертной оценки проектов, в основном, характеризуют следующие их группы:

- «*Общая оценка проекта*» содержит критерии направленные на оценку: «актуальности заявленной темы» на основании положений нормативных правовых документов, регламентирующих деятельность органов исполнительной власти различного уровня применительно к приоритетным задачам управления сферой науки и технологий; «соответствия организации-заявителя и заявленной темы определенным требованиям и ограничениям конкурса, которые могут быть введены распорядителем средств для проведения конкурса», например, исходя из требований распорядителя средств, участником конкурса должна быть только государственная организация, опыт работы которой по тематике конкурса не менее 3 лет и т. д.; «соответствия, полноты и достаточности планируемых мероприятий проекта, представленного на конкурс» целям и задачам конкурса и заявленной темы; «ожидаемых результатов выполнения проекта», которые должны: обеспечить возможность их «сопоставления» с выходными количественными и качественными характеристиками проекта и заданными ограничениями конкурсной документации; продемонстрировать степень достижения заявленных в проекте целей и перспективы практического использования ожидаемых результатов.
- «*Кадровая обеспеченность проекта*» содержит критерии направленные на оценку: соответствия персонала, привлекаемого к выполнению проекта, целям, сложности и актуальности заявленной темы, вероятности успешной реализации заявленного плана работ; компетентности руководителя заявленного проекта с позиций: соответствия его управленческих навыков и уровня профессиональной подготовленности поставленным целям и задачам проекта; опыта решения аналогичных задач, подтвержденного данными из официальных государственных источников, например, ЕГИСУ НИОКТР; компетентности и творческого потенциала каждого исполнителя заявленного проекта. Кроме перечня ранее подготовленных публикаций и выполненных работ аналогичного характера, при оценке исполнителей могут учитываться такие их

персональные достижения, как публикационная активность, рейтинг ранее написанных статей по тематике заявленного проекта, опыт практического внедрения ранее полученных научных результатов, позволяющих повысить качество решения поставленных задач; вероятности успешной реализации представленного плана работ по достижению целей и ожидаемым результатам с учетом обозначенных сроков, выделяемых ресурсов и иных ограничений конкурсной документации, в которой отражена взаимосвязь плана работ и нагрузки на каждого исполнителя, возможные риски выполнения отдельных этапов плана, а также сведения о вероятности привлечения к выполнению плана работ других заинтересованных сторон.

- «*Финансовая и ресурсная обеспеченность проекта*» содержит критерии направленные на оценку: обоснованности плана распределения финансовых средств на выполнение проекта и поддержание текущего состояния деятельности организации-заявителя; достаточности представленных данных для оценки бюджета заявленного проекта и обеспечения трудозатрат по этапам его реализации в целях выполнения проекта на высоком научно-техническом уровне и в соответствии со всеми требованиями конкурсной документации; возможности материально-технической и информационной базы организации-заявителя проекта обеспечить результативную, своевременную и конкурентоспособную организацию направлений деятельности, предусмотренных в конкурсной документации (научные исследования, разработки, ОКР, международная научно-техническая деятельность и т. п.).
- «*Системная сбалансированность разделов проекта*» содержит критерии направленные на оценку: взаимосвязи и корректности информационного описания разделов проекта, например, касающихся: юридической и научной корректности и достаточности используемых понятий и определений для раскрытия и детализации содержания проекта и критериев его оценки; возможности достижения заявленных в конкурсной документации значений критериев оценки; корректности построения шкал для измерения качественных критериев; достоверности и достаточности данных из официальных источников на всех этапах реализации и внедрения результатов проекта; обеспечения «прозрачности» проведения экспертизы за счет установления взаимосвязи используемых критериев оценки с данными, включенными в формы ведомственной отчетности или в план статистических работ Росстата и т. д.; узкоспециализированных характеристик выполнения проекта, например, «количество публикаций», «доля внедренных научно-технических результатов», количество созданных опытных образцов и объектов техники» и т. д.

Для выявления на множестве сравниваемых научных проектов степени их предпочтительности в количественных единицах по каждому из выбранных локальных критериев и их групп необходимо устано-

вить процентное отношение фактической величины оценок анализируемого проекта к соответствующей величине оценок эталонного гипотетического проекта (локальный индекс превосходства проекта по локальному критерию). Проведя сопоставление полученных локальных индексов превосходства по всему набору критериев оценки, получаем набор индексов превосходства анализируемого проекта, требуемых заказчиком эталонного проекта.

Представим в количественных единицах интегральный критерий оценки предпочтительности анализируемого проекта НИОКР (далее — К) суммой значений локальных критериев оценки предпочтительности проекта (далее — q_i), нормированных с помощью коэффициентов значимости критериев (μ_i):

$$K = \sum_i^n \mu_i q_i,$$

где μ_i — значимость (вес) i -го критерия оценки; q_i — оценка предпочтительности проекта НИОКР по i -му локальному критерию; $i=1, \dots, n$ — порядковый номер критерия; n — число локальных критериев оценки.

Используем в качестве эталона виртуальный проект НИОКР, у которого оценки по всем критериям — наилучшие. Обозначим через K_a интегральный критерий оценки предпочтительности выбранного эталонного проекта. Тогда обобщенный критерий предпочтительности проекта (далее — P_k) по отношению к предпочтительности эталонного проекта определим формулой:

$$P_k = K / K_a.$$

Практическая реализация данной модели требует наличия полноты анализируемых данных, характеризующих проект НИОКР и эталонный проект. На практике условие полноты анализируемых данных не всегда выполняется по ряду причин. Например, из-за некомпетентности персонала, формирующего матрицу данных (a_{ij}) для проведения оценки сравниваемых проектов; нежелания респондентов раскрывать данные по некоторым критериям; закрытости некоторых данных, характеризующих эталонный проект и т. п., что в итоге может привести к получению смещенных результатов и к искажению выводов по результатам использования неполных данных. Для решения проблемы неполноты данных в матрице (a_{ij}) могут применяться различные методы, например, исключаться из рассмотрения наблюдения с пропущенными данными; проводиться поиск недостающей информации из различных источников; пропуски в данных могут заполняться на этапе их первичного анализа и обработки [14-16].

Разработка модели сопоставления проектов НИОКР, как правило, связана с формированием n -мерного метрического пространства для характеристики текущего состояния научного эталона и сравнения с ним исследуемой тематики. Фазовые координаты n -мерного метрического пространства соответствуют критериям (параметрам), которые характеризуют анализируемый эталон и профильный ему проект. В многомерном пространстве для оценки расстояния

между выбранным эталоном и тем или иным исследуемым проектом вводят в рассмотрение весовые коэффициенты, определяющие значимость каждого критерия оценки проектов. Весовые коэффициенты задают путем опроса ряда экспертов и обработки их оценок или путем применения процедур, позволяющих выявить предпочтения лиц, принимающих решения [10, 11, 13]. С учетом весовых коэффициентов μ_i ($i=1, \dots, n$), расстояние в n -мерном пространстве критериев между эталоном (далее — проект А) с вектором параметров $X(A) = (x_1(A), \dots, x_n(A))$ и анализируемым проектом В (далее — проект В) с вектором параметров $X(B) = (x_1(B), \dots, x_n(B))$ представляется в виде модели:

$$L(AB) =$$

$$= \left\{ \sum_{i=1, \dots, n} \mu_i [(x_i(A) - x_i(B)) / \max(x_i(A), x_i(B))]^2 \right\}^{1/2}. \quad (1)$$

Модель (1) по мере удаленности анализируемого проекта от эталонного выполняет роль ориентира, позволяющего при определенных ограничениях «двести» значения критериев оценки этого проекта $X(B)$ до принятого эталона.

После определения критериев оценки $X(A) = (x_1, \dots, x_n)$ лучшего проекта — эталона необходимо рассчитать весовые коэффициенты μ_i ($i=1, \dots, n$), определить значение параметров вектора

$$X^0(B) = (x_1^0, \dots, x_n^0)$$

проекта В, который, в условиях имеющихся ограничений, обеспечивает максимально возможное «приближение» разрабатываемого проекта В к эталонному проекту А, т. е. обеспечивает возможно минимальное удаление проекта В от эталонного проекта А:

$$L[X(A), X^0(B)] = \quad (2)$$

$$= \min_{x(B)} \left\{ \sum_{i=1, \dots, n} \mu_i [(x_i(A) - x_i(B)) / \max(x_i(A), x_i(B))]^2 \right\}^{1/2}.$$

В модели (2) достижение минимального «расстояния» между сравниваемыми проектами А и В осуществляется в условиях действия тех или иных ограничений, в том числе ресурсных:

$$R(X_1(B), \dots, X_n(B)) \leq R_{\text{задан}},$$

где R — расходуемый ресурс на реализацию анализируемого отечественного проекта В (или отдельных его параметров); $R_{\text{задан}}$ — заранее заданный предельный объем ресурсов для выполнения проекта В.

Приведем графическое представление модели ранжирования сравниваемых проектов, построенной на основе «ухудшения» значений вектора критериев оценки их результативности (эффективности) [15]. Обозначим через $F(i, j)$ характеристику анализируемого j -го проекта ($j=1, \dots, m$) по i -му критерию ($i=1, \dots, n$); K_i — величина, соответствующая наилучше-

му значению i -го критерия; W_i – величина, соответствующая наихудшему значению i -го критерия;

$$\vec{K} = \{K_1, K_2, \dots, K_n\} -$$

вектор, составленный из наилучших значений показателей;

$$\vec{W} = \{W_1, W_2, \dots, W_n\} -$$

вектор, составленный из наихудших значений параметров; a – точка в пространстве показателей, отвечающая вектору \vec{K} ; b – точка в пространстве показателей, отвечающая вектору \vec{W} .

Предположим, что для каждого проекта известно численное значение каждого i -го критерия и эксперты определили наилучшие (наихудшие) значения каждого критерия. Данная гипотеза позволяет интерпретировать набор критериев, характеризующих сравниваемые проекты точками в n -мерном пространстве критериев, и судить об их качестве по степени близости к точке «а» или по удалению от точки «b» (рисунок). Длина отрезка (c, a) определяет степень близости оцениваемого проекта, соответствующего точке «с», к наилучшему проекту. Аналогично длина отрезка (b, c) определяет удаленность оцениваемого проекта с параметрами точки «с» от наихудшего проекта.

Для обеспечения сопоставимости анализируемых проектов по множеству количественных и качественных критериев, измеренных в различных шкалах, проведем их нормирование. Используем для этого, например, следующую модель:

$$\forall i, \forall j: f(i, j) = \frac{F(i, j) - \min \{K_j, W_j\}}{\max \{K_j, W_j\} - \min \{K_j, W_j\}},$$

и заменим характеристику анализируемого j -го проекта по i -му критерию ($F(i, j)$) на его нормированную величину $f(i, j)$.

Критерии, характеризующие эталонные точки «а» и «b», также подлежат нормированию. Каждому i -му критерию ставится в соответствие расстояние $R(i)$ до точки «а», вычисляемое по формуле:

$$R(i) = \left\{ \sum_{j=1}^{j=m} [f(i, j) - f(a, j)]^2 \right\}^{1/2}, \text{ для } i = 1, \dots, n.$$

Сравниваемые проекты ранжируют по возрастанию расстояния $R(i)$ до точки «а». В начале ранжированного ряда будут находиться лучшие проекты, в конце ряда – худшие. Будем считать, что i -й проект лучше j -го, если для него выполняется условие $R(i) < R(j)$. Если существует непустое подмножество оцениваемых проектов Q , ($|Q| > 1$), для которых расстояния до точки «а» одинаковы, т. е. имеют место равенства:

$$\forall i \in Q, \forall t \in Q: R(i) = R(t),$$

то для них вычисляются расстояния $G(i)$, $i \in Q$, до точки «b»:

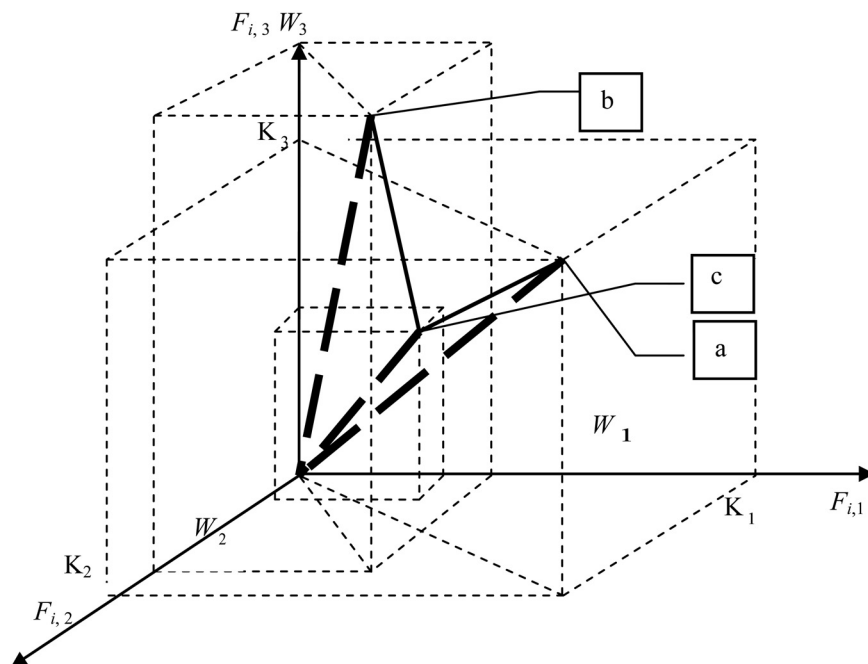
$$G(i) = \left\{ \sum_{j=1}^{j=m} [f(i, j) - f(b, j)]^2 \right\}^{1/2} \quad (3)$$

после чего проекты, которые принадлежат множеству Q упорядочиваются по убыванию расстояния $G(i)$ до точки «b». При этом лучшие проекты будут находиться в начале полученного ряда, худшие – в конце этого ряда. При использовании модели (3) считаем, что i -й проект лучше t -го, если $G(i) > G(t)$.

В рассмотренной модели целесообразно учесть важность примененных критериев оценки и то обстоятельство, что суждения экспертов по качественным критериям оценки проектов могут носить нечисловой характер [11, 16].

Введем следующие обозначения для описания метрик сравнения проектов с учетом важности критериев оценки:

- $y_{i, j}$ – численное значение i -го критерия для j -го проекта;



Графическое представление модели сопоставления проектов НИОКР для трех критериев оценки

- $k_{i,j}$ — наилучшее значение i -го критерия для j -го проекта;
- $w_{i,j}$ — наихудшее значение i -го критерия для j -го проекта;
- μ_i — весовой коэффициент, или степень важности i -го критерия для j -го проекта;
- $F_{k,j}$ — k -я метрика сравнения анализируемого проекта с лучшим (худшим) проектом из множества сравнения j -го проекта.

Введем метрики сравнения проектов, позволяющие их упорядочивать по возрастанию $F_{k,j}$ или убыванию этих величин:

$$F_{k,j} = \frac{\sum_i |y_{i,j} - k_{i,j}|}{\mu_{i,j}} \rightarrow \min,$$

$$F_{k,j} = \sum_i \mu_{i,j} |w_{i,j} - k_{i,j}| \rightarrow \max.$$

Первая целевая функция позволяет анализировать проекты упорядочить по возрастанию $F_{k,j}$, а при использовании второй целевой функции упорядочить по убыванию этой величины. В обоих случаях на первом месте ранжированного ряда будут наилучшие проекты из представленных на конкурс.

3. Алгоритм ранжирования проектов, представленных на конкурс

С учетом изложенного, укрупненный алгоритм ранжирования проектов, представленных на конкурс, предполагает выполнение следующих действий:

1. Представление исходного множества оценок сравниваемых проектов НИОКР в виде матрицы: столбцы которой соответствуют номерам критериев оценки ($i=1, 2, \dots, n$), строки — номерам сравниваемых проектов НИОКР ($j=1, 2, \dots, m$), на их пересечении указываются оценки сравниваемых проектов (a_{ij}) по выбранным критериям.
2. Задание по каждому критерию его наилучшего значения на множестве проектов заносится в столбец матрицы исходных данных a_{ij} в качестве гипотетического эталонного проекта ($m+1$).
3. Нормирование оценок проектов матрицы a_{ij} по каждому количественному и качественному критерию и их представления в виде нечетких чисел (a'_{ij}), лежащих на отрезке от 0 до 1, что позволяет провести обработку нечетко-множественных оценок экспертов с помощью аппарата теории нечетких множеств [10, 11, 16]. Нормирование оценок матрицы (a_{ij}) позволяет перейти к некоторому единообразному описанию сравниваемых проектов НИОКР для всех критериев (перевести их в безразмерные величины x_{ij}) и сопоставить сравниваемые объекты (так как вводится новая единица измерения, допускающая формальные сопоставления сравниваемых объектов по принятому набору критериев). Если осуществляется опрос нескольких экспертов, то учитывается мнение каждого из них и определяется среднеарифметическая оценка нечетких чисел по каждому критерию. Для каждого качественного критерия разрабатывается

нечетко-множественная шкала, помогающая эксперту дать оценку. Для шкал отношений и интервалов наиболее распространены следующие способы нормирования:

1. $x_{ij} = (a'_{ij} - \bar{a}'_i) / \sigma$;
2. $x_{ij} = a'_{ij} / \bar{a}'_i$;
3. $x_{ij} = a'_{ij} / a'_{i\ominus}$;
4. $x_{ij} = a'_{ij} / a'_{i\max}$;
5. $x_{ij} = (a'_{ij} - \bar{a}'_i) / (a'_{i\max} - a'_{i\min})$;
6. $x_{ij} = (a'_{ij} - \bar{a}'_{i\min}) / (a'_{i\max} - a'_{i\min})$;
7. $x_{ij} = (a'_{ij} - \bar{a}'_{i\max}) / (a'_{i\max} - a'_{i\min})$;

где x_{ij} — нормированное значение i -го критерия j -й темы; $a'_{i\ominus}$ — значение i -го критерия гипотетического эталонного проекта; $a'_{i\min}$ — наихудшее значение i -го критерия; σ — среднее квадратическое отклонение. На практике чаще всего используют первый из приведенных способов нормирования.

4. Расчет для каждого анализируемого проекта его среднеквадратического отклонения от эталонного проекта:

$$R_j = \left\{ \mu_1(1-x_{1j})^2 + \mu_2(1-x_{2j})^2 + \dots + \mu_n(1-x_{nj})^2 \right\}^{1/2},$$

где μ_1, \dots, μ_n — весовые коэффициенты значимости критерия; R_j — рейтинговая оценка j -й темы НИОКР ($j = 1, 2, \dots, m$) по принятому набору критериев оценки; n — число критериев оценки.

5. Выбор из методов расчета весовых коэффициентов критериев μ_i ($i=1, \dots, n$), представленных в работах [17-22], метода, реализация которого позволит учесть: число используемых критериев; приемлемую для лица, принимающего решения, степень отличия весовых коэффициентов наиболее важного и наименее важного критериев; возможность сформулировать суждения ЛПР о его предпочтении используемых критериев на качественном уровне, а затем перевести их в количественные, используя вербально-числовую шкалу относительной предпочтительности.
6. Проведение ранжирования проектов НИОКР по мере возрастания оценок R_j . Проекты с минимальным значением среднеквадратического отклонения от эталонного проекта получают максимальный рейтинг.

Заключение

С учетом изложенного сформулируем следующие выводы и рекомендации.

1. Рассмотренные модели и методы являются инструментарием, реализующим комплексный подход к снижению субъективного влияния участников экспертизы на итоги конкурсной оценки и многокритериального выбора научно-технических проектов в условиях нечисловых суждений экспертов по качественным критериям их оценки.
2. Применение совокупности предложенных моделей и методов позволит: совершенствовать процедуры проведения «государственной», «отраслевой» и «региональной» экспертизы научных и научно-технических проектов различ-

ного типа и уровня за счет их интеграции в один обобщенный алгоритм и преобразования оценок экспертов по качественным характеристикам проектов в числовой вид; сформировать банки данных по типовым используемым терминам, применяемым при описании шкал оценки анали-

зируемых проектов; усовершенствовать модели и методы подсчета сводных оценок проектов, согласующихся с требованиями государственного статистического учета, теории принятия решений и математической статистики объектов нечисловой природы.

Список использованных источников

1. О. И. Ларичев, А. С. Прохоров, А. Б. Петровский и др. Опыт планирования фундаментальных исследований на конкурсной основе//Вестник АН СССР. 1989. № 7. С. 51-61.
2. А. Б. Петровский. Системы поддержки принятия решений для структуризации и анализа качественных альтернатив. Дисс. на соискание степени д. т. н. Специальность: 01.01.11. М., 1994. 195 с.
3. О. И. Ларичев, Е. М. Мошкович. Качественные методы принятия решений. Вербальный анализ решений. М.: Наука. Физматлит, 1996. 208 с.
4. В. С. Бойченко, А. Б. Петровский, М. Ю. Стернин, Г. И. Шепелев. Выбор приоритетов научно-технического развития: опыт Советского Союза//Труды Института системного анализа Российской академии наук. 2015. Вып. 3. С. 3-12. <http://www.isa.ru/proceed...&view=article&id=893>
5. Ю. А. Зак. Прикладные задачи многокритериальной оптимизации. М.: Экономика, 2014. 455 с.
6. В. Д. Ногин. Линейная свертка критериев в многокритериальной оптимизации Санкт-Петербурга//Санкт-Петербургский государственный университет «Искусственный интеллект и принятие решений». 2014. № 4. С. 73-82.
7. N. R. Baker, J. Freeland. Recent Advances in R&D Benefit Measurement and Project Selection Methods//Management Sciences. 1975. 21. № 10. P. 1164-1175.
8. Б. Оныкий, С. Остапюк, Л. Сумароков. Коллективные решения//Проблемы создания и развития МСНТИ. № 1. М.: МЦНТИ, 1977. С. 3-68.
9. С. В. Емельянов, О. И. Ларичев. Многокритериальные методы принятия решений. М.: Знание, 1985. 32 с.
10. А. И. Орлов. Организационно-экономическое моделирование: учебник. В 3-х ч. Ч. 2: Экспертные оценки. М.: Изд-во МГУ им. Н. Э. Баумана, 2011. 486 с.
11. В. П. Осипов, В. А. Судаков. Многокритериальный анализ решений при нечетких областях предпочтений//Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. 2017. № 6. 16 с.
12. Е. Злоба, И. Яцкив. Статистические методы восстановления пропущенных данных//Computer Modeling&New Technoljgits. Vol. 6. 2004. С. 55-56.
13. Р. Дж. А. Литтл, Д. Б. Рубин. Статистический анализ данных с пропусками. М.: Финансы и статистика, 1991. 430 с.
14. Missing data SPSS Learning Modules. <https://stats.oarc.ucla.edu/spss/modules/missing-data>.
15. С. Остапюк, Г. Воробьева. Многокритериальная оценка программ научно-технической и инновационной направленности//Инвестиции в России. 2006. № 3 (134). С. 33-35.
16. А. И. Посадский, Т. В. Сивакова, В. А. Судаков. Агрегирование нечетких суждений экспертов//Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. 2019. № 101. 12 с.
17. Я. В. Михайлов. Управленческое решение. Пособие для управленцев-практиков. М.: Экономика, 2011. 143 с.
18. А. Н. Шилин, И. А. Коптелова Теория принятия решений в проектировании информационно-измерительной техники. М-во образования и науки РФ, Волгоградский гос. технический ун-т. Волгоград: ВолГТУ, 2012. 128 с.
19. Т. Л. Саати. Принятие решений: метод анализа иерархий. Москва: Радио и связь, 1993. 14 с.
20. О. И. Ларичев. Теория и методы принятия решений. М.: Университетская лавка, Логос, 2008. 392 с.
21. Метод Черчмена – Аккофа. https://studopedia.ru/9_67538_metod-cherchmena-akoffa.html?ysclid=ln4tz4zm62559300420.
22. В. М. Постников, С. Б. Спиридонов. Методы выбора весовых коэффициентов локальных критериев//Наука и Образование. МГУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 6. С. 267-287.

References

1. O. I. Larichev, A. S. Prohorov, A. B. Petrovskij et al. Opyt planirovaniya fundamental'nyh issledovaniy na konkursnoj osnove//Vestnik AN SSSR. 1989. № 7. S. 51-61.
2. A. B. Petrovskij. Sistemy podderzhki prinyatiya reshenij dlya strukturizacii i analiza kachestvennyh al'ternativ. Dissertaciya na soiskanie stepeni doktora tekhnicheskikh nauk. Special'nost': 01.01.11. Moskva, 1994. 195 s.
3. O. I. Larichev, E. M. Moshkovich. Kachestvennyye metody prinyatiya reshenij. Verbal'nyj analiz reshenij. M.: Nauka. Fizmatlit, 1996. 208 s.
4. V. S. Bojchenko, A. B. Petrovskij, M. Yu. Sternin, G. I. Shepelyov. Vybory prioritetoV naučno-tekhnicheskogo razvitiya: opyt Sovetskogo Soyuza//Trudy Instituta sistemnogo analiza Rossijskoj akademii nauk 2015. Vyp. 3. S. 3-12. <http://www.isa.ru/proceed...&view=article&id=893>
5. Yu. A. Zak. Prikladnye zadachi mnogokriterial'noj optimizacii. M.: Ekonomika, 2014. 455 s.
6. V. D. Nogin. Linejnaya svertka kriteriev v mnogokriterial'noj optimizacii Sankt-Peterburg//Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj universitet «Iskusstvennyj intellekt i prinyatie reshenij». 2014. № 4. S. 73-82.
7. N. R. Baker, J. Freeland. Recent Advances in R&D Benefit Measurement and Project Selection Methods//Management Sciences. 1975. 21. № 10. P. 1164-1175.
8. B. Onykiy, S. Ostapyuk, L. Sumarokov. Kollektivnyye resheniya//Problemy sozdaniya i razvitiya MSNTI. № 1. M.: MCNTI, 1977. S. 3-68.
9. S. V. Emel'yanov, O. I. Larichev. Mnogokriterial'nye metody prinyatiya reshenij M.: Znanie, 1985. 32 s.
10. A. I. Orlov. Organizacionno-ekonomicheskoe modelirovanie: uchebnyk. V 3 ch. Ch. 2. Ekspertnye ocenki. M.: Izd-vo MGTU im. N. E. Baumana, 2011. 486 s.
11. V. P. Osipov, V. A. Sudakov. Mnogokriterial'nyj analiz reshenij pri nechetkikh oblastyah predpochtenij//Preprinty IPM im. M. V. Keldysha. 2017. № 6. 16 s.
12. E. Zloba, I. Yackiv. Statisticheskie metody vosstanovleniya propushchennyh dannyh//Computer Modeling&New Technoljgits. Vol. 6. 2004. S. 55-56.
13. R. Dzh. A. Littl, D. B. Rubin. Statisticheskij analiz dannyh s propuskami. M.: Finansy i statistika, 1991. 430 s.
14. Missing data SPSS Learning Modules. <https://stats.oarc.ucla.edu/spss/modules/missing-data>.
15. S. Ostapyuk, G. Vorob'yova. Mnogokriterial'naya ocenka programm naučno-tekhnicheskoy i innovacionnoj napravlenosti//Investicii v Rossii. 2006. № 3 (134) S. 33-35.
16. A. I. Posadskij, T. V. Sivakova, V. A. Sudakov. Agregirovaniye nechetkikh suzhdenij ekspertov//Preprinty IPM im. M. V. Keldysha. 2019. № 101. 12 s.
17. Ya. V. Mihajlov. Upravlencheskoe reshenie. Posobie dlya upravlencev-praktikov. M.: Ekonomika, 2011. 143 s.
18. A. N. Shilin, I. A. Koptelova. Teoriya prinyatiya reshenij v proektirovanii informacionno-izmeritel'noj tekhniki. M-vo obrazovaniya i nauki RF, Volgogradskij gos. tekhnicheskij un-t. Volgograd: VolGТУ, 2012. 128 s.
19. T. L. Saati. Prinyatie reshenij: metod analiza ierarhij. Moskva: Radio i svyaz', 1993. 314 s.
20. O. I. Larichev. Teoriya i metody prinyatiya reshenij. M.: Universitetskaya lavka, Logos, 2008. 392 s.
21. Metod Chermchmena – Akoffa. https://studopedia.ru/9_67538_metod-cherchmena-akoffa.html?ysclid=ln4tz4zm62559300420.
22. V. M. Postnikov, S. B. Spiridonov. Metody vybora vesovyh koefficientov lokal'nyh kriteriev//Nauka i Obrazovanie. MGTU im. N. E. Baumana. Elektron. zhurn. 2015. № 6. S. 267-287.