

Научная статья

УДК 629.78:338.262 / 303.732.4

URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=186896>

EDN: <https://www.elibrary.ru/ABYTWP>

МЕТОДИКА БАЛАНСИРОВКИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ПРОЕКТА ПО РАЗВИТИЮ КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ МЕТОДОМ УВЕРЕННЫХ РЕШЕНИЙ

**С.С. КОМАРЧЕВ¹, В.С. КИСИЛЕНКО¹, В.А. СОКОЛОВ¹, С.В. КИСЕЛЬ¹,
В.В. МАЛЫШЕВ², Д.А. РАЗУМОВ²✉**

¹Акционерное общество "Центральный научно-исследовательский институт
машиностроения", г. Королёв, Московская область, Россия

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский
университет)», г. Москва, Россия

✉ DmitriRazumov@yandex.ru

Цитирование: Комарчев С.С., Кисиленко В.С., Соколов В.А., Кисель С.В., Малышев В.В., Разумов Д.А. Методика балансировки федерального проекта по развитию космических средств методом уверенных решений // Труды МАИ. 2025. № 145.
URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=186896>

Аннотация. 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. Подобные задачи обычно имеют многоцелевой характер и требуют оценки каждого проекта по совокупности показателей, оказывающих влияние на проектирование системы, её разработку и функционирование. В сфере освоения космоса цена ошибочных или недостаточно сбалансированных решений слишком велика и оказывает существенное, стратегическое воздействие на уровень научно-технического развития страны, её экономический, научный и оборонный потенциал на многие годы вперёд. Тщательно отработанные научно-

обоснованные методы принятия решений позволяют избежать финансовых потерь, оптимизировать расходование бюджетных средств и обеспечить в конечном итоге лидерство в вопросах освоения и использования космоса. Необходимо иметь средства, позволяющие вовремя получать информацию для принятия оптимальных решений, так как используемые подходы не свободны от недостатков, среди которых самым существенным является ангажированность экспертных оценок, связанная с учётом интересов и задач множества структур, ведомств и организаций, участвующих в реализации каждого проекта.

Также необходимо отметить, что 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.

Предлагается новая методика балансировки федерального проекта по развитию космических средств методом уверенных решений. Метод позволяет значительно снизить влияние субъективного экспертного мнения на итоговый результат и повысить скорость и качество принимаемых решений. Кроме того, предлагаемая методика в отличие от существующих обеспечивает возможность использования в ходе балансировки проекта дополнительных ограничений, что расширяет область ее применения. Приведен пример, иллюстрирующий результативность данной методики.

Ключевые слова: федеральный проект, балансировка, метод уверенных решений.

.....

THE METHODOLOGY OF BALANCING THE FEDERAL PROJECT FOR THE DEVELOPMENT OF SPACE ASSETS USING THE CONFIDENT SOLUTIONS METHOD

S.S. KOMARCHEV¹, V.S. KISILENKO¹, V.A. SOKOLOV¹, S.V. KISEL¹,

V.V. MALYSHEV², D.A. RAZUMOV²✉

¹Joint Stock Company "Central Research Institute for Machine Building",
Korolev, Moscow Region, Russia

Citation: Komarchev S.S., Kisilenko V.S., Sokolov V.A., Kisel S.V., Malyshev V.V., Razumov D.A. The methodology of balancing the federal project for the development of space assets using the confident solutions method // Trudy MAI. 2025. No. 145. (In Russ.).

URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=186896>

Abstract. Within the framework of managing the program or portfolio of projects of a space corporation, as well as when implementing projects of large complex systems, the problem arises of evaluating the results obtained taking into account a variety of criteria. Such tasks are usually multi-purpose in nature and require an assessment of each project based on a set of indicators that affect the design of the system, its development and functioning. In the field of space exploration, the cost of erroneous or insufficiently balanced decisions is too high and has a significant strategic impact on the level of scientific and technological development of the country, its economic, scientific and defense potential for many years to come. Carefully developed scientifically based decision-making methods make it possible to avoid financial losses, optimize budget spending and ultimately ensure leadership in space exploration and use. It is necessary to have the means to receive information in time to make optimal decisions, since the approaches used are not free from disadvantages, among which the most significant is the bias of expert assessments related to the interests and objectives of many structures, departments and organizations involved in the implementation of each project.

It should also be noted that a common feature of existing methods, despite their widespread use, is their dependence on the subjectivity of experts and, in most cases, on a complex, lengthy and ambiguous procedure for formalizing expert opinion. There are often problems with the convergence of expert opinions.

A new method is proposed for balancing the federal project for the development of space assets using the confident solutions method. The method makes it possible to significantly reduce the influence of subjective expert opinion on the final result and increase the speed and quality of decisions made. In addition, the proposed methodology, unlike the existing ones, provides the possibility of using additional constraints during

project balancing, which expands the scope of its application. An example illustrating the effectiveness of this technique is given.

Keywords: federal project, balancing, method of confident solutions.

Введение

Основным инструментом реализации государственной политики в области развития космических средств в настоящее время являются федеральные проекты [1]. Федеральный проект по развитию космических средств (ФПРКС, федеральный проект) представляет собой портфель целевых проектов (ЦП), направленных на решение задач, заданных документами стратегического планирования, и включающих взаимосвязанные мероприятия, обеспечивающие проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, создание требуемого научно-технического задела, поддержание работоспособности и организацию серийной закупки изделий ракетно-космической техники, оказание услуг по запуску космических аппаратов, а также реконструкцию и перевооружение производства предприятий отрасли [2].

Важнейшей задачей, решаемой в ходе формирования ФПРКС является задача балансировки данного проекта или приведение его в соответствие заданным финансовым и другими ограничениям (например, суммарные финансовые средства, выделяемые на реализацию проекта; объемы финансирования проекта по годам реализации; требуемая загрузка предприятий, планируемых к участию в реализации проекта; необходимые уровни диверсификации направлений работ по развитию космических средств; взаимосвязь и взаимоисключения ЦП и др.).

Для решения задачи балансировки портфеля проектов чаще всего используется методический подход, который описан в многочисленных отечественных и зарубежных источниках, рекомендациях американского Института управления проектами (PMI) и включает [3]:

- приоритизацию проектов портфеля путем оценки по десятибалтной шкале с привлечением экспертов их частных показателей приоритета (например, важность, стоимость, длительность реализации, текущий статус, уровень риска и

др.), а также оценки аддитивной свертки указанных частных показателей с весовыми коэффициентами, определяемыми экспертно;

- ранжирование проектов в порядке убывания их приоритета;
- выбор методом ватерлинии при заданных суммарных финансовых ограничениях наиболее приоритетные проекты, включаемые в состав портфеля проектов.

Данный подход характеризуется:

- значительным субъективизмом привлекаемых экспертов, а также необходимостью решения задач квалификационного отбора экспертов, обеспечение сходимости экспертных оценок, привлечения необходимого числа экспертов и др., что приводит к снижению оперативности, а в ряде случаев и к практической нереализуемости;
- невозможностью использования дополнительных ограничений, что сужает область его применения.

Для снижения субъективизма в [4] расчет частных показателей приоритета осуществляется без привлечения экспертов, а весовые коэффициенты определяются методом Фишберна [5], который, тем не менее, требует ранжирования частных показателей приоритета в порядке убывания их значимости и задания предпочтений между ними, что вызывает затруднения в случае значительного числа частных показателей.

С целью дальнейшего снижения неопределенности в ходе принятия решений и получения, тем самым, более достоверных оценок уровня приоритета вместо метода Фишберна могут быть использованы метод принятия решений в условиях неопределенности (ПРИНН) или метод уверенных суждений, разработанные отечественными учеными аэрокосмической сферы деятельности. [6, 7].

Первый метод включает: расчет матрицы комплексных оценок с использованием ограниченного типового набора способов учета неопределенности (наилучший, наихудший, средний, осторожный, оптимистический, релейный и нивелирующий); построение на их основе

итеративной процедуры формирования комплексной оценки решений в условиях неопределенности, предоставляя возможность лицу, принимающему решение (ЛПР), отражать свои предпочтения, устанавливая значимость частных показателей. Практическое применение метода ПРИНН требует использования достаточно серьезного программного комплекса поддержки принятия решения, а также порождает терминологию и математический аппарат, с трудом воспринимаемые реальным ЛПР.

Суть метода уверенных суждений состоит в том, что оценивается не конкретная аддитивная свёртка частных показателей, а совокупность всех возможных свёрток при всех возможных комбинациях весов частных показателей или моделируемых экспертных мнений. При этом, в случае необходимости, учитываются только уверенные суждения ЛПР. Данный метод на сегодняшний день автоматизирован и практически используется при решении задачи балансировки ФПРКС и других задач многокритериального выбора [8].

Метод уверенных суждений, снижая уровень субъективизма, вместе с тем не решает задачу обеспечения возможности использования в ходе балансировки ФПРКС дополнительного перечня ограничений, что требуется в реальных условиях.

Для решения указанной задачи предлагается использовать метод уверенных решений, в основе которого лежит процедура дробления интервала весов частных показателей, являющаяся ключевым элементом метода уверенных суждений. Суть метода уверенных решений заключается в том, что для каждого целевого проекта, входящего в базовый состав федерального проекта, с использованием линейной свертки частных показателей формируется не одно, а множество значений обобщенных показателей ценности. Для этого оценивается совокупность всех возможных свёрток при всех возможных комбинациях весов частных показателей. При необходимости учитываются уверенные суждения ЛПР. Для каждой из указанной оценки решается оптимизационная задача целочисленного линейного программирования и формируется множество оптимальных решений, определяющих состав федерального проекта. Из

полученного множества оптимальных решений выбирается наиболее уверенное решение, которое наибольшее число раз встречается в указанном множестве.

Настоящая методика реализует метод уверенных решений и включает:

- оценку частных показателей ценности целевых проектов;
- формирование всех возможных комбинаций весов линейной свертки частных показателей ценности;
- исключение комбинаций весов, противоречащих уверенным суждениям ЛПР;
- расчет обобщенных показателей ценности целевых проектов для каждой уверенной комбинации весов линейной свертки;
- определение оптимальных решений для каждой уверенной комбинации весов линейной свертки;
- определение наиболее уверенного оптимального решения.

Постановка задачи

Дано:

Базовый состав ФПРКС, представляющий собой множество целевых проектов $ЦП = \{ЦП_j\}$, возможных к включению в федеральный проект, $j = \overline{1, J}$, где J – число целевых проектов.

Множество частных показателей ценности целевых проектов $Q_{\text{ч}} = \{q_k\}$, обоснованных в [9], $k = \overline{1, K}$, где K – число частных показателей ценности.

Множество значений частных показателей ценности целевых проектов $Q_{\text{зч}} = \{q_{jk}\}$, рассчитанных по методикам, приведенным в [9].

Множество значений обобщенных показателей ценности целевых проектов $Q = \{q_j\}$. Ценность каждого ЦП рассчитывается на основе его частных показателей ценности по методике, приведенной ниже.

Заданное ресурсное ограничение для федерального проекта, определяемое лимитом бюджетных ассигнований, выделяемых на реализацию ФПРКС по годам его реализации $C^{\text{зад}} = \{c_t\}$, где $t = \overline{1, T}$, T – число лет реализации ФПРКС.

Требуемое ресурсное ограничение для предприятий – участников федерального проекта – объем финансирования, необходимый предприятиям для обеспечения их эффективного функционирования в ходе реализации ФПРКС. Определяется требуемой финансовой загрузкой предприятий $CP^{TP} = \{cp^r\}$, где $r = \overline{1, R}$, R – число предприятий, подавших заявки на участие в формируемом ФПРКС. Рассчитывается, исходя из объемов фактического финансирования предприятий в предшествующей программе.

Требуемое ресурсное ограничение для направлений работ по созданию космических средств (диверсификация направлений работ) $CD^{TP} = \{cd^s\}$, где $s = \overline{1, S}$, S – число указанных направлений работ. Под диверсификацией направлений работ по созданию космических средств (например, космические средства связи и ретрансляции, гидрометеорологические космические средства, космические средства оптико-электронного дистанционного зондирования Земли, космические средства радиолокационного дистанционного зондирования Земли и др.) понимается обеспечение возможности: финансирования всех указанных направлений работ при заданном ресурсном ограничении и вне зависимости от ценности целевых проектов их составляющих; парирования возможного вырождения многозадачного федерального проекта в однозадачный; взаимоувязки разрабатываемого ФПРКС с другими тематическими федеральными проектами. Требуемые уровни диверсификации направлений работ по созданию космических средств оцениваются, исходя из долей объемов фактического финансирования указанных направлений работ в предшествующей программе.

Методики оценки требуемой финансовой загрузки предприятий и требуемых уровней диверсификации направлений работ приведены в [10].

Взаимосвязь целевых проектов. Взаимосвязанные целевые проекты – это целевые проекты, которые реализуются совместно (например, целевой проект по созданию космической системы и целевой проект по созданию или развитию наземного комплекса управления). Взаимосвязь целевых проектов задается квадратной матрицей $Y = \|Y_{\gamma\omega}\|$, где $\gamma, \omega = \overline{1, J}$. Элемент данной матрицы $Y_{\gamma\omega} = 1$,

если ω -ый целевой проект связан с γ -ым целевым проектом. В противном случае $Y_{\gamma\omega} = 0$. Если ω -ый целевой проект связан с γ -ым целевым проектом, то при включении ЦП $_{\gamma}$ в состав ФПРКС туда же включается и ЦП $_{\omega}$.

Взаимоисключение целевых проектов. Взаимоисключаемыми целевыми проектами являются альтернативные целевые проекты, совместная реализация которых в условиях заданных ресурсных ограничений является нецелесообразной (например, альтернативные целевые проекты по созданию средств выведения). Взаимоисключение целевых проектов задается квадратной матрицей $\bar{U} = \|\bar{U}_{\alpha\beta}\|$, где $\alpha, \beta = \overline{1, J}$. Элемент рассматриваемой матрицы принимает единичное значение ($\bar{U}_{\alpha\beta}=1$), если целевые проекты α и β являются альтернативными. В противном случае $\bar{U}_{\alpha\beta}=0$. Если целевые проекты α и β являются альтернативными, то при включении в состав ФПРКС ЦП $_{\alpha}$ альтернативный ЦП $_{\beta}$ не может быть включен в федеральный проект ни при каких обстоятельствах.

Матрицы взаимосвязи Y и взаимоисключений \bar{U} целевых проектов подробно рассмотрены в [10].

Требуется:

Из заданного множества возможных к реализации целевых проектов ЦП, которые характеризуются значениями ценности Q , найти подмножество ЦП* \in ЦП целевых проектов, включаемых в состав ФПРКС, при котором достигается максимум ценности федерального проекта при заданных и требуемых ресурсных ограничениях $C^{ЗД}, CP^{TP}$ и CD^{TP} , а также с учетом взаимосвязи Y и взаимоисключения \bar{U} целевых проектов:

$$ЦП^* = \arg \max_{\{ЦП\}} \{Q(ЦП)\}, C \leq C^{ЗД}, CP \leq CP^{TP}, CD \leq CD^{TP}, Y, \bar{U} \quad (1)$$

где C – расчетная стоимость сформированного ФПРКС, CP – расчетная загрузка предприятий в сформированном федеральном проекте, CD – расчетное финансирование направлений работ по созданию космической техники.

Решение задачи

Блок-схема решения задачи приведена на рисунке 1 и включает три основных этапа.

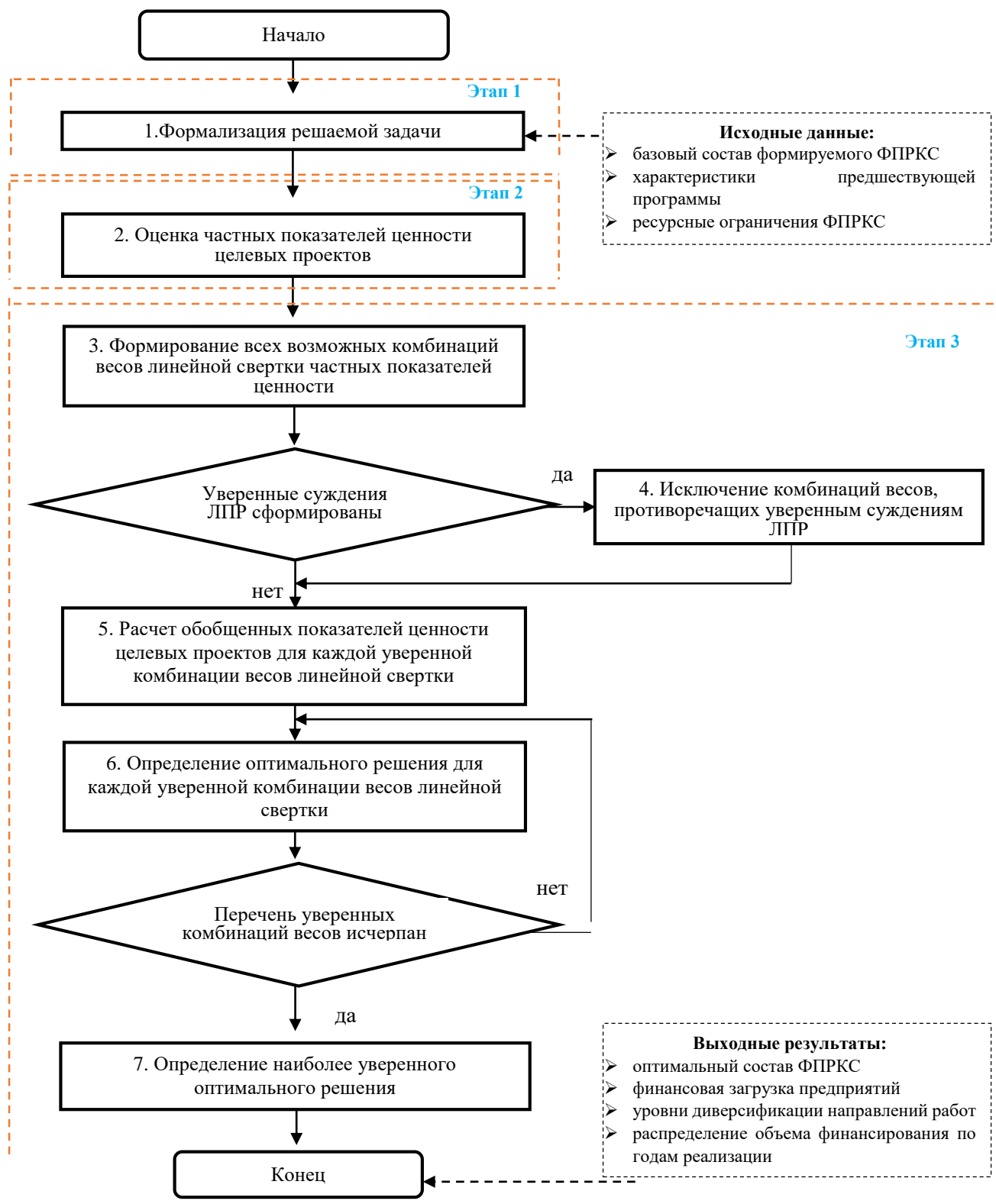


Рисунок 1 – Блок-схема решения

На первом этапе обеспечивается формализация показателей и ограничений решаемой задачи.

На втором этапе осуществляется оценка частных показателей ценности целевых проектов.

На третьем этапе реализуется метод уверенных решений. При этом для каждой уверенной комбинации весов линейной свертки частных показателей осуществляется расчет ценности целевых проектов и решение задачи целочисленного линейного программирования. Определяется наиболее уверенное оптимальное решение, которое определяет состав ФПРКС.

Оценка частных показателей ценности целевых проектов

Для оценки ценности целевых проектов используются 6 частных показателей результативности, перспективности, преемственности, затратности, импортонезависимости и реализуемости.

Частный показатель результативности характеризует вклад целевого проекта в достижение результатов ФПРКС, перспективности – вклад целевого проекта в развитие новых космических технологий, преемственности – степень реализованности целевого проекта, затратности – объем финансирования, требуемый на реализацию целевого проекта, импортонезависимости – степень использования отечественных комплектующих и реализуемости – возможность осуществления целевого проекта.

Все рассмотренные показатели ценности, кроме затратности, стремятся к максимуму. Затратность целевого проекта стремится к минимуму.

Значения указанных показателей ценности целевых проектов рассчитываются с использованием соотношений, приведенных в [9], через одноименные значения показателей ценности мероприятий, которые оцениваются без привлечения экспертов на основе объективных исходных данных, содержащихся в документах стратегического планирования, государственных и отраслевых стандартах, а также справках-обоснованиях заявок предприятий на включение соответствующих работ в федеральный проект.

Формирование всех возможных комбинаций весов линейной свертки частных показателей ценности

Расчет обобщенных показателей ценности целевых проектов или редуцирование многокритериальности осуществляется на основе линейной свертки частных показателей [7]:

$$g_j = \sum_{k=1}^K \overline{q_{jk}} \times \alpha_{jk}, \quad (2)$$

где α_{jk} - числовые коэффициенты, определяющие вес каждого нормированного k -го частного показателя ценности $\overline{q_{jk}}$ в сравнении с остальными для j -го целевого проекта.

Данные веса являются положительными $\alpha_{jk} \geq 0$ и нормированными $\sum_{k=1}^K \alpha_{jk} = 1$. Их задание, как правило, носит субъективный характер и характеризуется недостаточной обоснованностью.

Для преодоления неопределенности выбора весов частных показателей ценности целевых проектов по аналогии с методом уверенных суждений, подробно рассмотренным в [7], оценивается не конкретная линейная свёртка частных показателей, а совокупность всех возможных свёрток при всех возможных комбинациях их весов.

Для формирования множества V допустимых комбинаций весов линейной свертки частных показателей ценности целевого проекта $\{\alpha_{jik}\}$ осуществляется дробление интервала $[0,1]$, в котором располагаются веса, с дискретностью интервала перебора весов d . Здесь i -номер комбинации весов $i \in V$, $i = \overline{1, I}$, I - число комбинаций весов. Значение I зависит от числа частных показателей ценности K и дискретности интервала перебора весов d [7]:

$$I = \frac{(K + 1 / d - 1)!}{(1 / d)! \times (K - 1)!}. \quad (3)$$

Исключение комбинаций весов, противоречащих уверенным суждениям ЛПР

В общем случае ЛПР для любой пары частных показателей ценности целевых проектов может сформировать уверенные суждения в части задания их предпочтения или равнозначности.

Так, например, если для множества частных показателей ценности $\{g_k\}$ ЛПР уверено, что φ -ый частный показатель предпочтительнее μ -го, а z -ый равнозначен λ -му, то уверенные суждения имеют вид:

$$\alpha_\varphi > \alpha_\mu, \alpha_z \approx \alpha_\lambda, \quad (4)$$

где $>$ – знак предпочтения левого веса над правым, а \approx – знак равнозначности левого и правого весов.

Тогда из множества допустимых комбинаций весов линейной свертки частных показателей ценности $\{\alpha_{jik}\}$ исключаются комбинации, которые не соответствуют сформированным уверенным суждениям (4), и определяется множество уверенных комбинаций весов V_u , элементы которого $\{\alpha_{jpk}\}$ соответствуют заданным уверенным суждениям, где p – номер уверенной комбинации весов, $p = \overline{1, P}$, P – число уверенных комбинаций весов. Является очевидным, что $P < I$.

Расчет обобщенных показателей ценности целевых проектов для каждой уверенной комбинации весов линейной свертки

С учетом указанного дробления интервала $[0,1]$ с дискретностью интервала перебора весов d , соотношение (2) принимает вид:

$$g_{ji} = \sum_{k=1}^K \overline{q}_{jk} \times \alpha_{jik}, \quad (5)$$

где g_{ji} – обобщенный показатель ценности j -го целевого проекта для i -ой комбинации весов линейной свертки частных показателей, а α_{jik} – вес k -го частного показателя ценности для i -ой комбинации весов j -го целевого проекта.

Нормирование значений частных показателей ценности обеспечивает их приведение к идентичному масштабу и безразмерному виду и осуществляется с использованием соотношений:

$$\overline{q}_{jk} = \frac{q_{jk}}{\sum_{j=1}^K q_{jk}} \text{ для максимизируемых частных показателей;} \quad (6)$$

$$\overline{q}_{jk} = 1 - \frac{q_{jk}}{\sum_{j=1}^K q_{jk}} \text{ для минимизируемых частных показателей.} \quad (7)$$

Если для множества частных показателей ценности $\{g_k\}$ уверенные суждения ЛПР отсутствуют, то для каждой i -ой допустимой комбинации весов

линейной свертки частных показателей ценности с использованием соотношения (5) рассчитываются обобщенные показатели ценности всех целевых проектов и формируется множество оценок $\{g_{1i}, g_{2i}, \dots, g_{ji}, \dots, g_{Ji}\}$. Указанное множество включает L элементов:

$$L = I \times J. \quad (8)$$

При наличии уверенных суждений выполняются аналогичные действия для каждой уверенной комбинации весов линейной свертки и формируется множество оценок, включающее H элементов:

$$H = P \times J. \quad (9)$$

Определение оптимальных решений для каждой уверенной комбинации весов линейной свертки

При отсутствии уверенных суждений для определения оптимального решения для каждой i -ой комбинации весов линейной свертки частных показателей ценности осуществляется решение задачи целочисленного линейного программирования:

$$\sum_{j=1}^J (g_{ji} \times x_j) \rightarrow \max_{x \in X} \quad (10)$$

при ограничениях:

$$\sum_{j=1}^J c_{jt} \times x_j \leq c_t, \quad (11)$$

$$cp_t^{rmin} \leq \sum_{j=1}^J cp_{jt}^r \times x_j \leq cp_t^{rmax}, \quad (12)$$

$$cp^{rmin} \leq \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T cp_{jt}^r \times x_j \leq cp^{rmax}, \quad (13)$$

$$cd^{smin} \leq \sum_{j=1}^J cd_j^s \times x_j \leq cd^{smax}, \quad (14)$$

$$(x_\gamma - x_\omega) = 0, (x_\alpha - x_\beta) = 1, \quad (15)$$

где (10) – целевая функция, x_j – булевы переменные, $x_j = 1$, если j -ый целевой проект входит в состав формируемого ФПРКС, $x_j = 0$ в противном случае; (11) – ресурсное ограничение на формируемый федеральный проект, здесь

c_{jt} – потребность в финансировании j -го целевого проекта в t -ом году реализации, определяется суммой заявленных объемов финансирования его мероприятий; (12) – ресурсное ограничение на загрузку $г$ -го предприятия в t -ом году реализации ФПРКС, cp_{jt}^r – заявленный объем финансирования $г$ -го предприятия в ходе выполнения j -го целевого проекта в t -ом году реализации ФПРКС, cp_t^{rmin} и cp_t^{rmax} – минимальная и максимальная границы загрузки $г$ -го предприятия в t -ом году реализации федерального проекта; (13) – ресурсное ограничение на загрузку $г$ -ого предприятия в рамках ФПРКС, cp^{rmin} и cp^{rmax} – минимальная и максимальная границы загрузки $г$ -го предприятия в ходе реализации федерального проекта; (14) – ресурсное ограничение по уровню диверсификации направлений работ, cd_j^s – доля объема фактического финансирования s -го направления работ в ходе реализации j -го целевого проекта, cd^{smin} и cd^{smax} – соответственно минимальная и максимальная доли объема фактического финансирования s -го направления работ в ходе реализации федерального проекта; (15) – условия взаимосвязи и взаимоисключения целевых проектов.

Методики расчета значений c_{jt} , cp_{jt}^r , cp_t^{rmin} , cp_t^{rmax} , cp^{rmin} , cp^{rmax} , cd_j^s , cd^{smin} и cd^{smax} приведены в [10].

В случае наличия уверенных суждений ЛПР указанная задача целочисленного линейного программирования решается для каждой p -ой комбинации весов линейной свертки частных показателей ценности целевых проектов.

Определение наиболее уверенного оптимального решения

Решая задачу целочисленного линейного программирования (10) при ограничениях (11)-(15) для каждой комбинации весов получаем множество оптимальных решений по составу федерального проекта, которые образуют F уникальных вариантов состава ФПРКС для данного интервала перебора весов.

Каждый указанный f -ый вариант $ЦП_f^*(n_f)$ характеризуется уверенностью, которая оценивается числом входящих в него оптимальных решений n_f , где $f = \overline{1, F}$.

Тогда, состав ФПРКС определяется вариантом оптимального состава федерального проекта с максимальной уверенностью:

$$ЦП^* = \max_{n_f} ЦП_f^*(n_f). \quad (16)$$

Пример решения задачи

Пусть требуется оптимизировать базовый состав ФПРКС, который реализуется в течение 11 лет и включает 18 целевых проектов. Суммарный объем финансовых ресурсов, выделенных на их реализацию, равен 1 950 000 усл. ед. Заданы дополнительные ресурсные ограничения федерального проекта (по годам реализации, загрузке предприятий, уровню диверсификации направлений работ), а также взаимосвязь ЦП-15 с ЦП-7 и взаимоисключение ЦП-3 и ЦП-9.

Предположим, что данные целевые проекты характеризуются частными показателями ценности (результативность, перспективность, преемственность, реализуемость и затратность), расчётные значения которых приведены в таблице 1.

Таблица 1

Расчетные значения частных показателей ценности целевых проектов

№ ЦП	Результативность	Перспективность	Преемственность	Реализуемость	Затратность, усл. ед.
1	4	10	0,12	0,556	150 203,9
2	4	9	0,50	0,333	111 910,9
3	4	11	0,02	0,444	188 031,7
4	4	13	0,05	0,444	306 845,9
5	4	10	0,02	0,444	190 709,9
6	4	42	0,01	0,333	303 064,2
7	4	31	0,23	0,222	281 762,2
8	4	15	0,27	0,444	121 479,9
9	4	3	0,02	0,778	431 333,4
10	4	5	0,93	0,667	104 677,7
11	4	1	1,00	0,889	20 254,5
12	1	1	0,02	0,889	20 097,7
13	1	6	1,00	0,333	2 647,2
14	2	1	0,71	0,889	204 015,2
15	1	26	0,02	0,778	122 335,5
16	1	10	0,02	0,778	49 440
17	1	23	0,02	0,444	142 483,8
18	1	18	0,02	0,333	47 143,8

Их нормирование осуществляется по формулам (6) и (7).

Интервал перебора весов примем равным 0,2. Тогда число всех возможных комбинаций весов линейной свертки частных показателей ценности для каждого целевого проекта, рассчитанный по формуле (3), равно 56.

Уверенные суждения ЛПР не заданы.

Без ущерба для понимания опускаем результаты промежуточных вычислений значений $56 \times 18 = 1008$ обобщенных показателей ценности всех целевых проектов для всех комбинаций весов линейной свертки частных показателей.

Решая задачу целочисленного линейного программирования для каждой из 56 комбинаций весов, получаем 12 уникальных вариантов состава федерального проекта, которые в таблице 2 обозначены буквами А, Б, В, ..., К и Л соответственно.

Таблица 2

Оптимальные решения по составу ФПРКС на всем множестве комбинаций весов

Комбинация весов	Состав ФПРКС								Вариант состава ФПРКС
	ЦП-1	ЦП-2	ЦП-3	ЦП-4	ЦП-5	ЦП-6	...	ЦП-18	
1	1	1	1	1	1	1	...	1	А
2	1	1	1	1	1	1	...	1	А
3	1	1	1	0	1	1	...	1	Б
4	1	1	1	0	1	1	...	1	Б
5	1	1	1	0	1	1	...	1	Б
6	1	1	1	1	0	1	...	1	В
7	1	1	1	1	1	0	...	1	Г
8	1	1	1	0	1	1	...	1	Д
9	1	1	1	0	1	1	...	1	Б
10	1	1	1	0	1	1	...	1	Б
11	1	1	1	0	1	1	...	1	Б
12	1	1	1	1	1	0	...	1	Г
13	1	1	1	0	1	1	...	1	Д
14	1	1	1	0	0	1	...	1	Ж
15	1	1	1	0	0	1	...	1	Ж
16	1	1	1	1	1	0	...	1	Г
...									
54	1	1	1	1	0	1	...	1	К
55	1	1	1	0	1	0	...	1	И
56	1	1	1	0	1	0	...	1	И

1 – ЦП входит в состав ФПРКС

0 – ЦП не входит в состав ФПРКС

Показатели уверенности и устойчивости вариантов состава ФПРКС

Вариант состава ФПРКС	Число оптимальных решений по составу федерального проекта			
	$d=0,25 (I=35)$	$d=0,2 (I=56)$	$d=0,1 (I=286)$	$d=0,05 (I=1771)$
А	1	2	5	17
Б	6	11	52	291
В	1	1	1	1
Г	3	5	9	18
Д	3	9	68	502
Е	4	7	31	186
Ж	10	12	85	568
З	2	1	3	8
И	5	6	29	155
К	-	1	2	3
Л	-	1	1	22

Как следует из таблицы 3 наибольшей уверенностью на всем множестве указанных вариантов характеризуется вариант "Ж", который включает 15 целевых проектов ($ЦП_1, \dots, ЦП_3, ЦП_6, \dots, ЦП_8, \dots, ЦП_{10}, \dots, ЦП_{18}$), в перечень которых не входят целевые проекты 4, 5 и 9. Уверенность данного варианта характеризуется значением, равным 12, и является максимальной. По этой причине указанный вариант и определяет состав федерального проекта.

Приведенные расчеты для других интервалов перебора весов 0,25; 0,1 и 0,05 показали (таблица 3), что варианты решений остаются постоянными, меняется только количество решений. При этом тенденция решений также не изменяется (вариант "Ж" для всех указанных интервалов перебора весов является наиболее уверенным).

Таким образом предложенная методика характеризуется устойчивостью получаемого решения, которое не зависит от интервала перебора весов частных показателей ценности.

Выводы

Настоящая методика обеспечивает балансировку федерального проекта по развитию космических средств без привлечения экспертов и с использованием нового метода уверенных решений, который формирует оптимальный перечень целевых проектов, возможных к включению в состав федерального проекта, при

заданных ресурсных ограничениях и условий, а также полной или частичной неопределенности лица, принимающего решение.

Метод уверенных решений состоит в том, что для каждого целевого проекта, входящего в базовый (оптимизируемый) состав федерального проекта, с использованием линейной свертки частных показателей формируется множество значений обобщенных показателей ценности. Для этого оценивается совокупность всех возможных свёрток при всех возможных комбинациях весов частных показателей. Для каждой из указанных оценок решается оптимизационная задача целочисленного линейного программирования и формируется множество оптимальных решений, определяющих состав целевых проектов федерального проекта. Из полученного множества оптимальных решений выбирается наиболее уверенное решение, которое наибольшее число раз встречается в указанном множестве и не зависит от интервала перебора весов частных показателей ценности.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Список источников

1. Положение об организации проектной деятельности в Правительстве Российской Федерации: утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 31.10.2018 № 1288 // КонсультантПлюс: сайт. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_310151/f42335354a124cb371c784f1cd74ce7f8de122a7/ (дата обращения: 23.09.2025).

2. Кисель С.В., Кисилenko В.С., Мальченко А.Н., Соколов В.А. Модель программно-целевого планирования и проектного управления федеральными

целевыми программами по космической деятельности России // Космонавтика и ракетостроение. – 2020. – Вып. №4 (115). – с. 71–83.

3. Кендалл И., Роллинз К. Современные методы управления портфелями проектов и офис управления проектами. Максимизация ROI. Пер. с англ. – М.: – ЗАО "ПМСОФТ". – 2004. – 576 с.

4. Кисиленко В.С., Петрухин Б.М., Кисель С.В., Соколов В.А., Комарчев С.С. Методика формирования состава федерального проекта в условиях ресурсных ограничений с учетом ценности результатов решения целевых задач // Информация и Космос. – 2023. – Вып. № 4. – с. 146-160.

5. Фишберн П. Теория полезности для принятия решений. – М.: – Радио и связь. – 1978. – 352 с.

6. Пиявский С.А., Малышев В.В. Новые методы принятия многокритериальных решений в цифровой среде. – М.: Наука. – 2022. – 370 с.

7. Разумов Д.А. Разработка методики многокритериальной оценки проектов космических средств и систем: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)». – М.: – 2021. – 128 с.

8. С.В. Кисель, С.С. Комарчев, Д.А. Разумов, В.А. Соколов, С.Г. Трегубов. Методические аспекты многокритериальной оценки вариантов решения задач управления федеральными программами (проектами) по созданию космической техники с использованием метода уверенных суждений // Космонавтика и ракетостроение. – 2024. – Вып. №2(135). – с. 101-122.

9. Довгалюк Е.И., Кисель С.В., Комарчев С.С., Соколов В.А. Методика формирования состава федерального проекта в условиях заданных ресурсных ограничений с учетом ценности целевых проектов // Космонавтика и ракетостроение. – 2024. – Вып. №1(138). – с. 92-110.

Комарчев С.С., Кисель С.В., Мальченко А.Н., Соколов В.А. Методика формирования состава мероприятий федерального проекта по созданию космической техники // Космонавтика и ракетостроение. – 2025. – Вып. №4(141), в печати.

References

1. Polozhenie ob organizatsii proektnoi deyatel'nosti v Pravitel'stve Rossiiskoi Federatsii: utverzhdeno postanovleniem Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 31.10.2018 № 1288 // KonsultantPlyus: sait. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_310151/f42335354a124cb371c784f1cd74ce7f8de122a7/ (data obrashcheniya: 23.09.2025).
2. Kisel S.V., Kisilenko V.S., Malchenko A.N., Sokolov V.A. Model programmno-tselevogo planirovaniya i proektnogo upravleniya federalnimi tselevimi programmami po kosmicheskoi deyatel'nosti Rossii // Kosmonavtika i raketostroenie. – 2020. – Vip. №4 (115). – s. 71–83.
3. Kendall I., Rollinz K. Sovremennye metody upravleniya portfelyami proektov i ofis upravleniya proektami. Maksimizatsiya POI. Per. s angl. – M.: – ZAO "PMSOFT". – 2004. – 576 s.
4. Kisilenko V.S., Petrukhin B.M., Kisel S.V., Sokolov V.A., Komarchev S.S. Metodika formirovaniya sostava federalnogo proekta v usloviyakh resursnikh ogranichenii s uchetom tsennosti rezultatov resheniya tselevikh zadach // Informatsiya i Kosmos. – 2023. – Vip. № 4. – s. 146-160.
5. Fishbern P. Teoriya poleznosti dlya prinyatiya reshenii. – M.: – Radio i svyaz. – 1978. – 352 s.
6. Piyavskii S.A., Malishev V.V. Novye metody prinyatiya mnogokriterialnykh reshenii v tsifrovoy srede. – M.: Nauka. – 2022. – 370 s.
7. Razumov D.A. Razrabotka metodiki mnogokriterialnoi otsenki proektov kosmicheskikh sredstv i sistem: dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / FGBOU VO «Moskovskii aviatsionnyi institut (natsionalnyi issledovatel'skii universitet)». – M.: – 2021. – 128 s.
8. S.V. Kisel, S.S. Komarchev, D.A. Razumov, V.A. Sokolov, S.G. Tregubov. Metodicheskie aspekty mnogokriterialnoi otsenki variantov resheniya zadach upravleniya federalnimi programmami (proektami) po sozdaniyu kosmicheskoi tekhniki

s ispolzovaniem metoda uverennikh suzhdenii // Kosmonavtika i raketostroenie. – 2024. – Vip. №2(135). – s. 101-122.

9. Dovgalyuk Ye.I., Kisel S.V., Komarchev S.S., Sokolov V.A. Metodika formirovaniya sostava federalnogo proekta v usloviyakh zadannikh resursnikh ogranichenii s uchetom tsennosti tselevikh proektov // Kosmonavtika i raketostroenie. – 2024. – Vip. №1(138). – s. 92-110.

10. Komarchev S.S., Kisel S.V., Malchenko A.N., Sokolov V.A. Metodika formirovaniya sostava meropriyatii federalnogo proekta po sozdaniyu kosmicheskoi tekhniki // Kosmonavtika i raketostroenie. – 2025. – Vip. №4(141), v pechati.

Информация об авторах

Сергей Сергеевич Комарчев, начальник лаборатории отдела 01102, Акционерное общество "Центральный научно-исследовательский институт машиностроения", г. Королёв, Московская область, Россия; e-mail: KomarchevSS@tsniimash.ru

Валерий Семенович Кисиленко, кандидат технических наук, начальник центра системных исследований космической деятельности, Акционерное общество "Центральный научно-исследовательский институт машиностроения", г. Королёв, Московская область, Россия; e-mail: KisilenkoVS@tsniimash.ru

Валерий Александрович Соколов, кандидат технических наук, начальник лаборатории отдела 01102, Акционерное общество "Центральный научно-исследовательский институт машиностроения", г. Королёв, Московская область, Россия e-mail: Sokolov VA@tsniimash.ru

Сергей Васильевич Кисель, кандидат технических наук, начальник отдела 01102, Акционерное общество "Центральный научно-исследовательский институт машиностроения", г. Королёв, Московская область, Россия; e-mail: KiselSV@tsniimash.ru

Вениамин Васильевич Малышев, доктор технических наук, профессор кафедры 604, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт

(национальный исследовательский университет)», г. Москва, Россия;
e-mail: veniaminmalyshev@mail.ru

Дмитрий Анатольевич Разумов, кандидат технических наук, ст. преподаватель кафедры 604, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», г. Москва, Россия;
e-mail: DmitriRazumov@yandex.ru

Information about the authors

Sergey S. Komarchev, Head of the Laboratory Department 01102, Joint Stock Company "Central Research Institute for Machine Building", Korolev, Moscow Region, Russia; e-mail: KomarchevSS@tsniimash.ru

Valery S. Kisilenko, Candidate of Technical Sciences, Head of the Center for System Research of Space Activities, Joint Stock Company "Central Research Institute for Machine Building", Korolev, Moscow Region, Russia; e-mail: KisilenkoVS@tsniimash.ru

Valery A. Sokolov, Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory Department 01102, Joint Stock Company "Central Research Institute for Machine Building", Korolev, Moscow Region, Russia; e-mail: Sokolov VA@tsniimash.ru

Sergey V. Kisel, Candidate of Technical Sciences, Head of Department 01102, Joint Stock Company "Central Research Institute for Machine Building", Korolev, Moscow Region, Russia; e-mail: KiselSV@tsniimash.ru

Veniamin V. Malyshev, Doctor of Technical Sciences, Professor Department 604, Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia; e-mail: veniaminmalyshev@mail.ru

Dmitry A. Razumov, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer Department 604, Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia; e-mail: DmitriRazumov@yandex.ru