

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОЕКТОВ КОСМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Альберт Воронин

Аннотация: Рассмотрен системный подход к оценке проектов космической деятельности. Такой проект является сложной системой с противоречивыми свойствами. Поэтому и оценка, и оптимизация (выбор) проектов космической деятельности осуществляется на основе теории принятия многокритериальных решений. Предложена методика как аналитической, так и качественной векторной оценки проектов с применением концепции нелинейной схемы компромиссов. Приведен реальный пример, иллюстрирующий возможности предложенной методики.

Ключевые слова: системный анализ, многокритериальная оценка, нелинейная схема компромиссов, профиль проекта.

ACM Classification Keywords: H.1 Models and Principles – H.1.1 – Systems and Information Theory; H.4.2 – Types of Systems.

Содержание проблемы

Задача оценки эффективности космических проектов является важной проблемой, от успешного решения которой зависит достоверность выводов о научной значимости результатов, о социальной и экономической эффективности планируемых и выполненных работ в космической отрасли. Подходы, применяемые для решения этой проблемы в настоящее время, характеризуются значительной степенью субъективности и возможностью произвола в результатах оценки. В настоящем разделе мы ограничимся рассмотрением оценки научных космических проектов, хотя основные результаты исследования применимы для оценки эффективности проектов вообще. Специфика оценивания научных космических проектов в рамках одной предметной области показана ниже, при рассмотрении примера применения излагаемой методики.

Современная наука исследует сложные объекты и процессы, применяя системный подход. В рамках этого подхода системный анализ космического научного проекта понимается как изучение, оценка и классификация сведений об исследуемой сложной системе, ее компонентах и условиях функционирования. Оценка может играть и самостоятельную роль. В других случаях цель системного анализа – подготовка предпосылок для создания или выбора системы с нужными нам свойствами (системный синтез). Ведущей операцией при этом является принятие решений, т.е. некоторый формализованный или неформализованный выбор, осуществляемый человеком или техническим устройством на основе данных системного анализа и сведений о требуемых качественных характеристиках создаваемой или выбираемой системы (оптимизация). Так как сложная система, как правило, характеризуется противоречивыми свойствами, то и оценка, и оптимизация (выбор) таких сложных систем, как космические научные проекты выполняется как многокритериальная (векторная) [1].

Экспертные оценки

Адекватными методами исследования сложных технических и эргатических систем являются методы экспертных оценок. Разработка начинается с формирования группы организаторов экспертизы, в чьи обязанности входит:

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

В качестве экспертов привлекаются высококвалифицированные специалисты в данной области. Их количество обычно обуславливается сложностью решаемой задачи. В нашей практике в экспертизе участвовало до 22 экспертов. На основании анализа проектов организаторы экспертизы формулируют предварительный список требований, которые должны быть предъявлены к космическим проектам по конкретному направлению. По предложению руководства Управления космических программ и научных исследований НКАУ требования структурируются по группам критериев:

- Общие критерии.
- Критерии научно-технического развития.
- Финансово-экономические критерии.
- Социальные критерии.
- Критерии обеспечения заданий обороны и безопасности.
- Экологические критерии.

После консультаций с экспертами организаторы экспертизы включают в каждую группу конкретные критерии. Первоначальный список частных критериев заведомо избыточен и выражает стремление не упустить существенных требований.

Чтобы выявить действительно значимые частные критерии, эксперты дают ординальные оценки критериев, представляющие собой целочисленные ранги, т.е. номера критериев в ряде ранжирования. Предлагается изучить список и выбрать из него наиболее важные, по мнению эксперта, частные критерии, проранжировав их в порядке важности. Для получения коллективного мнения о наиболее важных критериях организаторы подсчитывают сумму рангов экспертов, проголосовавших за каждый критерий из первоначального списка. Критерии, получившие наименьшую сумму рангов, выделяются в окончательный список. Количество выделенных критериев зависит от сложности задачи, но обычно их бывает от трех до восьми. Увеличение числа критериев снижает надежность суждений экспертов при оценке их относительной важности. Кроме того, необходимо, чтобы разница между количеством голосов, отданных наименее важному из выделенных критериев и наиболее важному из отсеженных, была возможно большей.

Выделенные показатели представляют собой исходную совокупность частных критериев, из которых формируется векторный критерий качества оцениваемого проекта. Осуществив ранжирование и обработав результаты, организаторы оставляют в списке s действительно значимых критериев. Определение их значений осуществляется в классе кардинальных экспертных оценок. В отличие от

ординальных, они выражаются не целочисленными рангами, а действительными положительными числами.

Анализ процессов принятия решений показал, что при оценке объектов по шкале баллов эксперты руководствуются так называемой фундаментальной шкалой (Табл. 1). В терминах теории нечетких множеств [2] фундаментальная шкала представляет собой функцию принадлежности, с помощью которой осуществляется переход от лингвистической переменной (удовлетворительное качество, высокое качество и пр.) к количественным оценкам (соответственно 5,5; 7,0) по шкале баллов, т.е. переход от нечетких качественных градаций к числам. В соответствии с изложенным, эксперты заполняют анкеты, в которых оценивают критерии по шкале баллов.

Табл. 1. Фундаментальная шкала

1.1. Категория качества	Фундаментальная шкала f	Обращенная нормированная фундаментальная шкала $y_0, Y_0,$
Неприемлемое	0 – 3	1,0 – 0,7
Низкое	3 – 5	0,7 – 0,5
Удовлетворительное	5 – 6	0,5 – 0,4
Хорошее	6 – 8	0,4 – 0,2
Высокое	8 - 10	0,2 – 0,0

Обработка данных

После заполнения все анкеты поступают к организаторам экспертизы и обрабатываются. Исходный массив данных представляет собой совокупность чисел f_{jk} . Это – оценка, данная j -м экспертом k -му критерию по шкале анкеты, $j \in [1, m]$; m – количество экспертов. Полученные оценки можно просто усреднить по экспертам

$$f_k = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m f_{jk}, k \in [1, s] \quad (1)$$

и считать задачу решенной. Так и поступают, если задача достаточно проста, количество экспертов достаточно велико и состав их достаточно однороден. В более сложных случаях вместо (1) следует применять методику обработки экспертных оценок с учетом коэффициентов достоверности.

При рассмотрении некоторых критериев часть экспертов затрудняются с их оценкой и в соответствующей графе ставят прочерк. Поэтому в формуле (1) и последующих вместо величины m мы использовали число m_k , $m_k \leq m$, $k \in [1, s]$, т.е. реальное число экспертов, участвовавших в оценке критерия u_k .

Оценки f_k получены по десятибалльной шкале для максимизируемых критериев. Применяемая ниже методика многокритериальной оценки разработана для нормированных минимизируемых критериев, которые получаются из f_k по формуле

$$y_{0k} = 1 - 0,1 \cdot f_k, y_{0k} \in [0; 1], k \in [1, s] \quad (2)$$

если кратность шкалы равна 10 и

$$y_{0k} = 1 - (1/c)f_k, y_{0k} \in [0;1], k \in [1,s], c > 2,$$

если, в общем случае, применяется с-кратная шкала.

Нормированным минимизируемым критериям сопоставляется обращенная нормированная фундаментальная шкала (Табл.1). Совокупность нормированных критериев y_{0k} является исходной для аналитической многокритериальной оценки проекта в соответствии с концепцией нелинейной схемы компромиссов.

Фундаментальным отличием свертки по нелинейной схеме от других известных скалярных свертки является органическая связь с ситуацией принятия многокритериального решения. По сути, предложенная свертка представляет собой нелинейную функцию регрессии (линейную по параметрам), выбранную по физическим соображениям и поэтому эффективную. Коэффициенты α имеют смысл параметров содержательной нелинейной функции регрессии, поэтому, будучи найденными, они не изменяются от ситуации к ситуации, как в случае линейной и других известных свертки, не адаптирующихся к ситуации.

Механизм индивидуальных предпочтений достаточно интенсивно применяется в практике решения многокритериальных задач. Однако субъективность в их решении допустима и желательна лишь до тех пор, пока результат предназначается для конкретных ЛПР или узких коллективов людей со сходными предпочтениями. Если же он предназначен для общего использования, то обязан быть вполне объективным, унифицированным. В этих случаях механизм индивидуальных предпочтений из методики решения многокритериальных задач должен быть исключен во избежание произвола и неоднозначности результатов решения.

Когда результат решения многокритериальной задачи предназначается для широкого использования, то он унифицируется и индивидуальные предпочтения нивелируются по статистике; становится применим принцип недостаточного основания Бернулли-Лапласа: если априорные вероятности возможных гипотез неизвестны, то их следует положить равным, т.е. все гипотезы следует считать равновероятными. В применении к многокритериальной задаче с использованием концепции нелинейной схемы компромиссов [1] это означает, что все весовые коэффициенты $\alpha_k, k \in [1,s]$ в свертке $Y(a, y_0)$ должны быть равными, если только нет никаких предварительных данных о разноценности критериев: $\alpha_k \equiv 1/s, \forall k \in [1,s]$. Тогда

$$Y(\alpha, y_0) = \frac{1}{s} \sum_{k=1}^s [1 - y_{0k}(x)]^{-1}.$$

Учитывая, что умножение на $1/s$ является монотонным преобразованием, которое, по теореме Гермейера, не изменяет результатов сравнения, переходим к унифицированному выражению для скалярной свертки критериев

$$Y(y_0) = \sum_{k=1}^s [1 - y_{0k}(x)]^{-1}. \quad (3)$$

Если вернуться к задаче оценивания проектов, то здесь $Y(y_0)$ – аналитическая оценка x -го проекта из совокупности целочисленных индексов сравниваемых проектов: $x \in X = \{I, II, III, IV, \dots\}$.

Скалярная свертка по нелинейной схеме компромиссов может быть применена как в задачах анализа (когда при известном решении x оцениваются критерии $y_0(x)$ и находится обобщенная аналитическая оценка $Y[y_0(x)]$ принятого решения), так и в задачах синтеза, когда компромиссно-оптимальное решение

(в данном случае выбор наилучшего из сравниваемых проектов) определяется в соответствии с моделью векторной оптимизации

$$x^* = \arg \min_{x \in X} Y[y_0(x)] = \arg \min_{x \in X} \sum_{k=1}^s [1 - y_{0k}(x)]^{-1}.$$

Оба случая предусматривают определение численных значений аналитической оценки $Y(y_0)$. Но если в задачах синтеза решение получается путем сопоставления численных значений, то в задаче анализа абсолютная величина $Y(y_0)$ еще ничего не говорит о том, насколько хорош (или плох) данный проект.

Для ответа на этот вопрос решим задачу перехода от численной оценки $Y(y_0)$ к лингвистической категории "хорошо – плохо". Прежде всего, нормируем аналитическую оценку так, чтобы при плохих проектах нормированная оценка $Y_0(y_0)$ приближалась к единице, а при хороших – к нулю.

Идеальными для минимизируемых критериев являются их нулевые значения. Положив в формуле (3)

$$y_{0k} = 0, \forall k \in [1, s],$$

получим $Y_{\min} = s$. Соотношение

$$\hat{Y}_0 = \frac{Y_{\min}}{Y} = \frac{s}{\sum_{k=1}^s (1 - y_{0k})^{-1}}$$

дает нормированную, но *максимизируемую* аналитическую оценку. Действительно, при плохих проектах, т.е. при $y_{0k} \rightarrow 1$, эта оценка обращается в ноль, а при хороших проектах ($y_{0k} \rightarrow 0$), она стремится к единице, а нам нужно наоборот. Чтобы получить требуемую нормированную *минимизируемую* оценку, необходимо положить

$$Y_0 = 1 - \hat{Y}$$

и окончательно для унифицированной скалярной свертки имеем

$$Y_0(y_0) = 1 - \frac{s}{\sum_{k=1}^s (1 - y_{0k})^{-1}} = 1 - \frac{s}{Y(y_0)} \quad (4)$$

Нормированная аналитическая оценка проекта Y_0 тоже измеряется по обращенной нормированной фундаментальной шкале (Табл. 1), которая в терминах теории нечетких множеств является функцией принадлежности [2]. С ее помощью осуществляется переход от числа Y_0 к соответствующей качественной градации. Например, если $Y_0 = 0,48$, то соответствующий проект классифицируется как "удовлетворительный".

В математике и смежных областях используется подход *замены переменных*. В теории электротехники от функций действительного переменного переходят к функции комплексного переменного и после преобразований обратно к действительным числам. В теории управления из временной области переходят в частотную и после вычислений обратно к функциям времени. В операционном исчислении (преобразования Хевисайда, Лапласа и др.) для решения дифференциальных уравнений осуществляется переход от оригиналов к изображениям, над которыми производятся *алгебраические* действия и затем выполняется обратное преобразование от изображений к оригиналам. Изложенное выше последовательное применение операций перехода от нечетких качественных градаций к числам, аналитических действий с числами и затем возврата к лингвистическим (качественным) категориям является одним из проявлений данного подхода.

Профиль проекта

Для визуализации векторной оценки научных космических проектов можно использовать совокупность нормированных критериев y_{0k} . На этой основе строится графический образ проекта ("профиль проекта"). Используется идея известного психофизиологического теста "Миннесота". Изучая реакции человека на внешние воздействия, психологи оценивают эти реакции по различным показателям, обозначают оценки точкой на шкале, соединяют точки линиями и выстраивают так называемый "профиль личности". Для опытного специалиста такой графический образ позволяет создать целостное представление об основных свойствах личности тестируемого человека. На основе концепции профиля личности разработаны методики прогнозирования поведения человека в тех или иных условиях, методы оценки его профпригодности, рекомендации для профориентации и т.п. Аналогичным образом, концепция профиля проекта позволяет создать *целостный* графический образ оцениваемого проекта, что может оказаться весьма полезным, например, при экспресс-оценках для руководителя программы.

Пример

Для иллюстрации приведем пример оценки эффективности научного космического проекта «Биосорбент». Этот проект был выбран как имеющий приоритет для включения в программу экспериментов на борту Международной космической станции. Для оценки его эффективности привлечены высококвалифицированные специалисты-эксперты из следующих организаций:

1. Институт ботаники им. М.Г. Холодного НАН Украины.
2. Институт физиологии им. О.О. Богомольца НАН Украины.
3. Национальный ботанический сад им. М.М. Гришко НАН Украины.

В процессе консультаций с экспертами были определены 4 группы (рубрики), включающие 28 критериев оценки данного научного космического проекта. Ведущие сотрудники перечисленных организаций заполнили анкету, полученные числа являются результатом обработки данных экспертизы по изложенной выше методике. Нормированные критерии рассчитываются по формуле (2) и представлены в Табл. 2 (профиль проекта). Профиль дает целостное представление об оцениваемом проекте по совокупности нормированных критериев качества. Специалист отметит, что значения минимизируемых критериев достаточно низкие, но наблюдается некоторый разброс в группах.

Для аналитической оценки классическим методом воспользуемся формулой (3) и получим $Y(y_0) = 31,34$. По формуле (4) определим $Y_0 = 0,11$. Обратившись к Табл. 1 как к функции принадлежности, обнаружим, что этому значению нормированной оценки соответствует градация "качество проекта высокое".

Заключение

Метод аналитической и качественной оценки проектов с использованием понятия нелинейной схемы компромисов предложен в статье. Сложные элементы методологии иллюстрированы на примере.

Благодарности

Статья частично финансирована из проекта **ITHEA XXI** Института Информационных теорий и приложений ITHEA ISS (www.ithea.org) и ADUIS (www.aduis.com.ua).

У025	0,00	
У026	0,20	
У027	0,23	
У028	0,00	

Сведения об авторе



Воронин Альберт Николаевич – профессор, доктор технических наук, профессор кафедры компьютерных информационных технологий Национального авиационного университета, проспект Комарова, 1, Киев-58, 03058 Украина; e-mail: alnv@voliacable.com

Multi-criteria evaluation of Space Activity Projects

Albert Voronin

Abstract: The systematic approach to the evaluation of projects in space activities is considered. Such a project is a complex system with conflicting properties. Therefore, the evaluation and optimization (selection) projects in space activities are based on the theory of multiple criteria decision making. A method for both analytic and qualitative vector evaluation of projects using the concept of nonlinear compromise scheme is proposed. An actual example to illustrate the possibility of the proposed method is given.

Keywords: System Analysis, Multi-criteria Evaluation, Non-linear scheme of compromises, Project Profile.

ACM Classification Keywords: H.1 Models and Principles – H.1.1 – Systems and Information Theory; H.4.2 – Types of Systems.