

УДК 519.816:330.46
JEL: C44, C61, C65

doi: 10.18184/2079-4665.2016.7.2.74.83

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ В ЭКОНОМИКО-УПРАВЛЕНЧЕСКОМ АСПЕКТЕ

Дмитрий Витальевич Панов¹, Вениамин Васильевич Малышев²,
Семен Авраамович Пиявский³, Джордж Владимирович Ковков⁴

¹ ФГУП «Научно-производственное объединение «Техномаш»
127018, Москва, 3-й проезд Марьиной Рощи, д. 40

² ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»
125993, Москва, Волоколамское ш., д. 4

³ ФГБОУ ВО «Самарский государственный архитектурно-строительный университет»
443001, Россия, Самара, ул. Молодогвардейская, 194

⁴ ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов»
117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

¹ Кандидат юридических наук, генеральный директор
E-mail: info@tmno.ru

² Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой 604
E-mail: mai604@mail.ru

³ Доктор технических наук, профессор, декан факультета, заведующий кафедрой прикладной математики
и вычислительной техники
E-mail: spiyav@mail.ru

⁴ Кандидат технических наук, доцент кафедры управления конкурентоспособностью аэрокосмических
предприятий Института космических технологий
E-mail: kovkov_dv@pfur.ru

Поступила в редакцию: 13.05.2016

Одобрена: 05.06.2016

Аннотация. Статья посвящена сравнительному анализу сложных технических и социальных систем в экономико-управленческом аспекте. Трудность проведения такого сравнения обусловлена многоаспектностью целевого применения, разнообразием и разнокачественностью отдельных составляющих систем, различием технологических условий, при которых происходит создание их и используемых для сравнения аналогов. Речь идет не о выборе одного, «наилучшего» решения из набора альтернатив, как это требуется в традиционной постановке задачи оптимизации, а о сопоставлении собственного объекта с его аналогами. Обычно целью подобного сопоставления является оценка его сравнительной целевой эффективности. Однако сравниваемый объект является продуктом соответствующей технологической цепочки. Ресурсы, затраченные на создание объекта и сравниваемых аналогов, всегда различны, так же, как и технологии преобразования этих ресурсов в конечные продукты. Поэтому возникает новая задача по оценке качества управления созданием собственного объекта в сравнении с аналогами.

Цель/задачи. Цель – разработка эффективных подходов к оценке качества управления при создании сложных технических и социальных систем. Для решения проблемы рассматриваются четыре многокритериальные задачи комплексной оценки: целевой эффективности продукта, всех видов используемых ресурсов, использованных технологий и, наконец, трехкритериальная задача оценки качества управления процессом создания объекта с оцененной целевой эффективностью за счет использования указанных ресурсов и технологий. Последняя задача связана с достижением наибольшей целевой эффективности при использовании меньших ресурсов и менее совершенных технологий, что свидетельствует о более высоком уровне управления. Задача относится к классу задач многокритериального принятия решений, в которых альтернативы характеризуются частными критериями и зависят от ряда неопределенных факторов.

Методология. Методология решения основана на использовании метода уверенных суждений, позволяющего лицу, принимающему решение, легко и обоснованно принимать решение на основе естественных для него суждений. Метод не использует искусственных приемов, направленных на формализацию задачи за счет отыскания якобы адекватного ей единственного способа учета неопределенности, а учитывает все множество таких способов. Фактически метод позволяет определить рейтинг искомого решения, представляющего собой долю способов учета неопределенности, при которых это решение является наилучшим по сравнению с остальными решениями.

Результаты. Апробация предложенного метода иллюстрируются на примере сравнительного анализа качества управления при создании Глобальных Навигационных Спутниковых Систем (ГНСС). Проводится

сравнение Российской Глобальной навигационной Спутниковой Системы (ГЛОНАСС) с аналогичными системами США (GPS), Европы (Galileo) и Китая (Kompas/Beidou).

Выводы/значимость. Предложенный подход имеет широкие возможности и может быть использован при проведении комплексного сравнения с существующими аналогами создаваемых или уже сформировавшихся сложных технических и социальных систем. Метод позволяет получить полезную информацию об реальном качестве и эффективности таких систем, а также выработать рекомендации по дальнейшему развитию.

Ключевые слова: многокритериальность, принятие решений, частные критерии, метод уверенных суждений, глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС).

Для ссылки: Панов Д. В., Малышев В. В., Пиявский С. А., Ковков Д. В. Сравнительный многокритериальный анализ сложных технических и социальных систем в экономико-управленческом аспекте // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2016. Т. 7. № 2. С. 74–83. doi:10.18184/2079-4665.2016.7.2.74.83

Постановка задачи

Комплексное сравнение существующих аналогов создаваемых или уже сформировавшихся сложных технических и социальных систем позволяет получить полезную информацию об их реальном качестве и эффективности, а также выработать рекомендации по дальнейшему развитию. Трудность проведения такого сравнения обусловлена многоаспектностью целевого применения, разнообразием и разнокачественностью отдельных составляющих систем, различием технологических условий, при которых происходит создание их и используемых для сравнения аналогов. Тем не менее, применение существующих методов многокритериальной оптимизации позволяет успешно решить эту задачу.

Подчеркнем, что в контексте данной статьи речь идет не о выборе одного, «наилучшего» решения из набора альтернатив, как это требуется в традиционной постановке задачи оптимизации, а именно о сопоставлении собственного объекта с его аналогами. Как правило, целью подобного сопоставления является оценка его сравнительной целевой эффективности. Однако следует подчеркнуть, что сравниваемый объект «не падает с неба» в готовом виде – он является продуктом соответствующей технологической цепочки. Ресурсы, затраченные на создание объекта и сравниваемых аналогов, всегда различны, так же, как и технологии преобразования этих ресурсов в конечные продукты. Поэтому возникает еще одна задача, представляющая, на наш взгляд, особый интерес: оценка качества управления созданием собственного объекта в сравнении с аналогами.

При этом возникают четыре многокритериальных задачи комплексной оценки: 1) целевой эффективности продукта; 2) всех видов используемых ресурсов; 3) использованных технологий; и, наконец, 4) трехкритериальная задача оценки качества управления процессом создания объекта с оцененной целевой эффективностью за счет использования указанных ресурсов и технологий. Важно отметить, что в этой четвертой задаче направлением оптимизации целевой эффективности является

максимум, а ресурсов и технологий – минимум, поскольку создание продукта в определенной целевой эффективности с использованием меньших ресурсов и, по необходимости, менее совершенных технологий свидетельствует о более высоком уровне управления.

Метод многокритериальной оптимизации

Выбирая метод многокритериальной оптимизации для решения указанных задач, следует стремиться к тому, чтобы полученные с его применением результаты пользовались максимально возможным доверием лица, в интересах которого проводится сравнение (будем традиционно называть его Лицом, принимающим решение – ЛПР). В то же время метод должен позволять ЛПР легко включать его использование в цепь своих неформализуемых размышлений, возникающих при сопоставлении анализируемой системы с аналогами, то есть легко изменять любые элементы задачи, немедленно получая отвечающий этим изменениям результат.

Как показано в [1–3], в наибольшей степени таким условиям отвечает Метод уверенных суждений (МУС). Дадим его краткое описание.

Рассмотрим классическую задачу многокритериальной оптимизации. Обозначим:

Y – множество вариантов решений (альтернатив),

$$f(y) = \{f^1(y), f^2(y), \dots, f^m(y)\}, y \in Y$$

– вектор-функция m частных критериев оптимальности, определенных на множестве альтернатив. ЛПР желает выбрать из множества альтернатив «наиболее рациональный» вариант.

Известно, что в этой задаче наиболее рациональный вариант решения $\bar{y} \in Y$ должен быть Парето-оптимальным, то есть удовлетворять известному условию (при стремлении минимизировать каждый частный критерий):

$$\exists \hat{y} \in Y: (f^j(\hat{y}) \leq f^j(\bar{y}) \quad j = 1, \dots, m) \wedge (\exists j \in \{1, \dots, m\}: f^j(\hat{y}) < f^j(\bar{y})). \quad (1)$$

Поскольку все Парето-оптимальные варианты с равным основанием могут быть признаны наиболее рациональными, то для того, чтобы остановить свой выбор на одном из них, ЛПР должен использовать, в той или иной форме, дополнительную информацию или суждение.

Одно из наиболее естественных суждений состоит в том, чтобы ввести в рассмотрение некоторый скалярный комплексный критерий оптимальности $F(f(y))$, соразмеряющий сравнительную важность различных частных критериев и позволяющий выбрать наиболее рациональный вариант решения строго математически:

$$F(f(\bar{y})) = \min_{y \in Y} F(f(y)). \quad (2)$$

Тем самым задача принятия решения перестает быть многокритериальной и при задании конкретной функции $F(f)$ наиболее рациональный вариант решения определяется путем обычной скалярной оптимизации. Однако, поскольку конкретный вид функции $F(f)$ ЛПР неизвестен, тем самым в задачу вводится новое множество: множество допустимых способов учета неопределенности S , которое представляет собой множество допустимых функций $s = F(f)$.

Если, без ограничения общности, полагать, что в результате нормирования значения всех частных критериев, а также комплексного критерия, нормированы от 0 до 1, то способ учета неопределенности – это строго монотонная функция, определенная на m -мерном единичном гиперкубе и сопоставляющая каждому вектору из него числовое значение, заключенное от нуля до единицы. Для того, чтобы подчеркнуть там, где необходимо, именно этот смысл обозначения $F(f)$ в отличие от значения комплексного критерия при конкретном значении аргумента f , мы будем использовать в этом втором смысле обозначение $F_s(f)$.

Большинство существующих формализованных методов принятия решений направлены на то, чтобы отыскать «правильный» для условий конкретной задачи способ учета неопределенности $\bar{s} \equiv \bar{F}(f)$, после чего наиболее рациональный вариант решения $\bar{y} \in Y$ определяется чисто математическим путем, как правило, однозначно. Простейшим, и наиболее часто используемым на практике, примером такого подхода является введение линейной свертки частных критериев:

$$\bar{F}(f) = \sum_{j=1}^m \alpha^j f^j, \alpha^j \geq 0, j = 1, \dots, m, \sum_{j=1}^m \alpha^j = 1, \quad (3)$$

где весовые коэффициенты $\alpha^j, j = 1, \dots, m$ задаются экспертным путем.

Обсудим обоснованность такого подхода.

Отметим, что, принимая этот метод, ЛПР делает два суждения:

- первое – что именно такой вид способа учета неопределенности в виде линейной свертки полностью адекватен данной задаче принятия решения;
- второе – что именно выбранные им эксперты, способ организации экспертизы и способ обработки мнений экспертов приводят к абсолютно достоверным значениям весовых коэффициентов.

Оба суждения могут быть оспорены. Действительно, линейная свертка обладает рядом известных недостатков. В частности, как известно, она может «не видеть» некоторые Парето-оптимальные варианты решения ни при каких значениях весовых коэффициентов. Так, например, на рис. 1 для двух минимизируемых критериев все варианты решений, образы которых в критериальном пространстве лежат выше пунктирной линии, не будут признаны наиболее рациональными ни при каких значениях весовых коэффициентов линейной свертки, хотя они являются Парето-оптимальными.

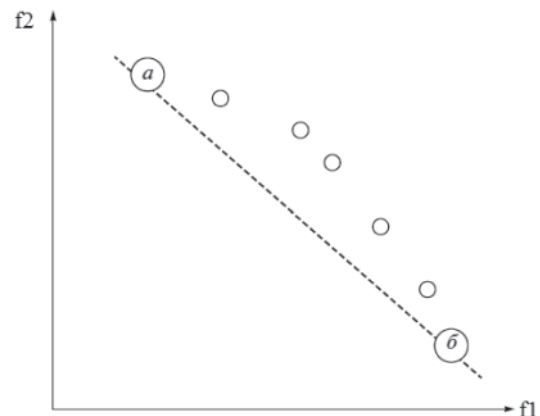


Рис. 1. Пример, демонстрирующий некорректность линейной свертки

Тем самым в этом примере использование линейной свертки нарушает естественное требование к множеству способов учета неопределенности S , а именно, что любому Парето-оптимальному варианту из множества допустимых вариантов решений Y должна соответствовать хотя бы одна функция $F(f) \in S$, при использовании которой этот вариант решения является наиболее рациональным. Невыполнение этого требования сужает возможности выбора ЛПР за счет чисто математических особенностей применяемого аппарата, что недопустимо.

Кроме того, помимо линейной свертки существует целый ряд столь же известных принципов оптималь-

ности (Паскаля, Вальда, минимального сожаления и пр.), а также широкий спектр методик многокритериального выбора решения (см., например [1, 3]), позволяющих по-своему вычислить значения комплексного критерия F . Почему же ЛПР выбрал именно линейную свертку? Ее простота не может быть решающим доводом, так как наличие ЭВМ позволяет сделать незатруднительным для ЛПР любой, сколь угодно сложный, метод расчета.

Субъективность определения значений весовых коэффициентов с помощью экспертизы очевидна.

Таким образом, оказывается, что выбор линейной свертки в качестве принятого ЛПР способа учета неопределенности отнюдь не является его «уверенным суждением», подобным требованию Парето-оптимальности наиболее рационального решения, а требует серьезного обоснования. Ясно, что при принятом способе скаляризации задачи на самом деле неопределенность не устраняется, а просто переносится с сопоставления частных критериев на сопоставление различных способов учета неопределенности, суть которых еще более далека от ЛПР.

Как показано в [4], первого недостатка среди непрерывных свертки лишена лишь минимаксная свертка (свертка Ю.Б. Гермейера):

$$\bar{F}(f) = \max_{j=1, \dots, m} \alpha^j f^j, \alpha^j \geq 0, j = 1, \dots, m, \\ \max_{j=1, \dots, m} \alpha^j = 1, \quad (4)$$

однако и в этом случае проблема определения значений весовых коэффициентов существует по-прежнему.

Корректный подход состоит в том, чтобы, отказавшись от стремления устранить неопределенность выбором конкретного способа ее «свертывания», использовать для принятия решения непосредственно ВСЕ МНОЖЕСТВО способов учета неопределенности. В методе ПРИНН [1, 5–8 и др.] такой подход был осуществлен в три этапа. Первые два этапа носят универсальный характер, и лишь третий реализуется при решении конкретной задачи.

На первом этапе было дано математическое описание универсального множества способов учета неопределенности S для задачи, в которой скалярный критерий оптимальности F зависит от функции $f(x)$, принимающей значения на элементах $x \in X$ некоторого множества неопределенности X . Показано, что множество S есть множество непрерывных строго монотонных функций одной переменной $G(t)$ (так называемых порождающих функций), определенных на отрезке $[0, 1]$ и удовлетворяю-

щих условиям $G(0) = 0, G(1) = 1$. Значение комплексного критерия при способе учета неопределенности $G(t)$ рассчитывается по формуле:

$$F = G^{-1} \left(\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m G(f(x^j)) \right) \text{ если } X = \{x^1, \dots, x^m\} \quad (5)$$

$$\text{или } F = G^{-1} \left(\frac{1}{\Omega} \int_{x \in X} G(f(x)) dx \right), \quad (6)$$

$$\text{где } \Omega = \int_{x \in X} dx,$$

если X – есть область конечномерного Евклидова пространства.

На втором этапе все множество допустимых способов учета неопределенности было заменено оптимальной ε -сетью, т.е. конечным числом наиболее полно представляющих его способов учета неопределенности.

На третьем этапе между этими «представителями» организуется (конечно, в виде математического алгоритма) итеративная процедура согласования оценок каждого варианта решения каждым «представителем» с позиций присущего ему способа учета неопределенности, но с учетом оценок, данных другими «представителями». Такой алгоритм моделирует известную процедуру ДЕЛФИ согласования мнений экспертов.

Метод ПРИНН хорошо зарекомендовал себя при решении значительного числа практических задач, однако определенным его недостатком является субъективность предложенной процедуры выделения небольшого числа «представителей» из всего множества способов учета неопределенности и организации процедуры типа ДЕЛФИ. Из-за этого метод, по сути, также можно рассматривать как один из возможных конкретных способов учета неопределенности, наряду с методом линейной свертки и другими.

В предлагаемом [3, 4] методе МУС этот недостаток устранен, так как при принятии решения используется непосредственно все множество способов учета неопределенности. Субъективность, которая является принципиальным правом ЛПР, включается (при его желании) только через два вида его «уверенных» суждений.

Уверенное суждение первого типа. При своей уверенности ЛПР может отнести различные частные критерии к различным группам важности. Напри-

мер, «критерии 1 и 4 наиболее важны, критерии 2 и 6 просто важны, а критерий 5 имеет наименьшую важность». Подчеркнем, что не предполагается, что ЛПР дает количественную оценку степени сравнительной важности частных критериев, речь идет лишь об их качественном сравнении, притом необязательном.

Уверенное суждение второго типа. При желании ЛПР может сконструировать пары Парето-несравнимых векторов частных критериев, в отношении которых он уверен, что один из векторов «лучше» другого. При этом не требуется, чтобы эти векторы отражали эффективность каких-либо реальных объектов. Если f_1 и f_2 – такая пара, в которой f_1 «уверенно лучше», чем f_2 , то это накладывает следующее ограничение на множество S :

$$S \subset \{s\}: F_s(f_1) \leq F_s(f_2) \forall s \in S. \quad (7)$$

Соответственно, предлагаемый метод применительно к сформулированной задаче многокритериального принятия решений состоит из следующих четырех этапов.

Этап 1. Строится профиль неопределенности решаемой задачи. Он показывает для каждого варианта решения $y \in Y$ диапазон изменения значений комплексного критерия эффективности на данном решении при всевозможных способах учета неопределенности. Профиль неопределенности задается парой определенных на Y функций:

$$\begin{aligned} \text{минорантой } m(y) &= \min_{s \in S} F(f(y)) \\ \text{и мажорантой } M(y) &= \max_{s \in S} F(f(y)). \end{aligned} \quad (8)$$

Заметим, что при этом могут быть выявлены заведомо нерациональные решения $z \in Y$, для которых существуют такие решения $\bar{z} \in Y$ и которые лучше их по комплексному критерию при любых возможных способах неопределенности. Условие выявления таких решений \bar{z} имеет вид:

$$\exists \bar{z} \in Y: M(\bar{z}) < m(z). \quad (9)$$

Основное назначение профиля неопределенности – дать ЛПР представление о степени влияния неопределенности на принятие решений в данной задаче. По мере добавления им «уверенных суждений» он сможет судить, насколько они уменьшают неопределенность.

Этап 2. По возможности сужается множество неопределенностей за счет учета в нем уверенных суждений ЛПР. При уверенных суждениях первого типа из множества S исключаются не соответствующие этим суждениям способы учета неопределенности. При уверенных суждениях второго типа

к описанию множества S добавляются условия (7), исключая те способы учета неопределенности, для которых не выполняются эти суждения.

В результате первых двух этапов исходное множество неопределенностей может сузиться, что отразится на профиле неопределенности решаемой задачи, однако вряд ли в нем останется лишь один элемент, или из множества вариантов решений по условию (9) будут исключены все варианты, кроме одного. Таким образом, неопределенность в задаче сохранится. Это и будет **неустраняемая неопределенность**. Все образующие ее способы учета неопределенности полностью равноправны для ЛПР, поскольку оно уже внесло утверждения первого и второго типа, используя возможность внесения дополнительного содержания в описание задачи. Не исключено, что могут быть найдены и другие типы уверенных суждений ЛПР, но они не изменят картину принципиально: все равно и после их использования неустраняемая неопределенность в задаче останется.

Этап 3. Рассчитываются жесткий и мягкий рейтинг вариантов решений с учетом неустраняемой неопределенности. При этом используется минимаксная свертка критериев, возможные значения весовых коэффициентов которой и составляют множество неопределенностей S . Чтобы не вводить ненужный для понимания (и практического применения) сложный математический аппарат, будем считать, что множество S содержит конечное число способов учета неопределенности $S = \{s_k\}_{k=1, \dots, K}$.

Тогда **жесткий рейтинг** $RG(y)$ решения $y \in Y$ есть доля способов учета неопределенности, при которых это решение является наилучшим по сравнению с остальными решениями:

$$RG(y) = \frac{\sum_{k=1}^K \mathbf{1}_{F_k(y) \leq F_k(z) \forall z \in Y}}{K}, y \in Y \quad (10)$$

(В случае, если при каком-то способе учета неопределенности лучшими оказываются несколько (например, p) решений, в жестком рейтинге каждого из них в сумме в числителе добавляется не 1, а $1/p$).

Мягкий рейтинг $RM(y)$ решения $y \in Y$ отражает среднюю сравнительную эффективность этого решения y по сравнению с решениями, оказавшимися наилучшими при различных способах учета неопределенности:

$$RM = \frac{\sum_{k=1}^K \frac{F_{s_k}(f(y))}{\max_{y \in Y} F_{s_k}(f(y))}}{K}. \quad (11)$$

Этап 4. ЛПР признает, что возможности дальнейшего уменьшения неопределенности за счет его «уверенных суждений» исчерпаны. Окончательно, в качестве «наиболее рационального» решения им выбирается решение с наилучшим (наименьшим) жестким рейтингом. Если таких решений несколько, в качестве наиболее рационального выбирается то из них, которое имеет наилучший (наименьший) мягкий рейтинг.

Оценка качества управления созданием ГЛОНАСС в сравнении с аналогами

Рассмотрим иллюстративный пример возможного применения описанного выше метода уверенных суждений для сравнительного анализа качества управления при создании ГНСС. Сравним российскую ГЛОНАСС с аналогичными системами США (созданная и эксплуатируемая система GPS), Ев-

ропы (создаваемая система Galileo) и Китая (создаваемая система Kompas/Beidou).

Так как речь идет о демонстрации предлагаемого метода, а не о проведении детального анализа, ограничимся лишь некоторыми, на наш взгляд, наиболее важными характеристиками целевой эффективности (табл. 1), характеристиками технологии создания ГНСС (табл. 3) и характеристиками затрат на создание ГНСС (табл. 5). Данные взяты из опубликованных источников и они, безусловно, не являются окончательными.

Результаты расчета жесткого и мягкого рейтингов методом уверенных суждений по каждой компоненте, а именно, комплексной оценке целевой эффективности ГНСС, комплексной оценке технологии создания ГНСС и комплексной оценке технологии создания ГНСС приведены соответственно в табл. 2, 4, 6.

Таблица 1

Некоторые характеристики целевой эффективности ГНСС

Показатель	Определение	США	Россия	Европа	Китай
Доступность	Процент времени нахождения минимально необходимого количества спутников в поле зрения пользователя	100	100	50	50
Срок активного существования КА	Средний срок функциональной работоспособности навигационного КА, лет	12	10	12	5
Покрытие	Показатель доступности при $r_{\text{дор}} < 2$	1	0,7	0,2	0,2
Точность измерения	Точность измерения в абсолютном режиме навигации при региональном покрытии с использованием оперативных данных, м	2	2	10	10
Количество КА ¹	Количество действующих навигационных КА в системе	31	24	6	18

Отметим, что при комплексной оценке целевой эффективности ГНСС считалось, что доступность и точность измерения являются наиболее важными

характеристиками, покрытие – важной характеристикой, а количество КА и срок активного существования КА – обычными характеристиками.

Таблица 2

Результаты комплексной оценки целевой эффективности ГНСС

	Жесткий рейтинг	Мягкий рейтинг
США	100	100
Россия	0	79
Европа	0	менее 1
Китай	0	менее 1

Как и следовало ожидать, по жесткому рейтингу выигрывает система США.

Это означает, что в каждом из актуализированных в данном расчете десяти тысяч допустимых способов количественного сопоставления значимости отдельных критериев, не нарушающего указанные

выше порядковые отношения значимости, наилучшим оказывался вариант ГНСС США. Это отражено в жестком рейтинге.

Однако при каждом из таких способов рассчитывалась комплексная эффективность любого варианта решения. Она нормировалась относительно макси-

¹ По состоянию на конец 2015 года, для США и России – по данным <http://www.sdcm.ru/>

мального из рассчитанных при данном способе значений комплексной эффективности. Тем самым относительная комплексная эффективность варианта, наилучшего при данном способе, равнялась 100%, а у других вариантов она была пропорционально меньше. Осредненное значение такой относительной эффективности по всем десяти тысячам способов количественного сопоставления значимости отдельных критериев и отражено в мягком рейтинге.

Напомним, что оценка по жесткому рейтингу применима тогда, когда ЛПР необходимо выбрать

единственный из рассматриваемых вариантов, например, купить или заключить договор об использовании исключительно его. Если же, как в данной статье, целью анализа является сравнение рассматриваемых вариантов, следует использовать мягкий рейтинг.

Как видно из табл. 2, по мягкому рейтингу ГНСС России уступает ГНСС США всего 21%, что свидетельствует о достаточно высоком качестве ГНСС России в космическом сегменте анализа.

Таблица 3

Некоторые характеристики технологии создания ГНСС

Показатель	Определение	США	Россия	Европа	Китай
Производительность ²	Выработка на одного человека, средняя по отрасли, тыс. дол.	234,3	22,3	323,1	59,2
Опыт	Количество жизненных циклов (поколений) продукции НС	4	3	2	2
Научный потенциал	Количество исследовательских организаций в области ГНСС	30	15	40	10
Программы подготовки ³	Количество университетских программ подготовки специалистов для космической отрасли	358	117	439	51

При комплексной оценке технологии создания ГНСС характеристики отнесены к следующим группам важности: научный потенциал к важней-

шим, опыт и производительность к важным, программы подготовки к обычным.

Таблица 4

Результаты комплексной оценки технологии создания ГНСС

	Жесткий рейтинг	Мягкий рейтинг
США	89	67
Россия	0	16
Европа	11	40
Китай	0	менее 1

Как следует из табл. 4, в области технологий, обеспечивающих разработку ГНСС, разброс между странами не так велик, как в случае космического сегмента. Это отражает тот факт, что технологи-

ческий уровень не является единственной предпосылкой создания высококачественного целевого продукта.

Таблица 5

Некоторые характеристики затрат на создание ГНСС

Показатель	Определение	США	Россия	Европа	Китай
Государственные инвестиции	Расходы на создание, поддержание и развитие ГНСС нарастающим итогом, млрд. долларов	34	6	4,9	4,7
Доля частных инвестиций ⁴	Отношение инвестиций частного сектора к общим инвестициям BERD/GERD	0,72	0,33	0,6	0,71
Всего, млрд. долларов		58,48	7,98	7,84	8,037

² <http://7x7-journal.ru/post/59107>

³ Futron's 2014 Space Competitiveness Index (SCI)

⁴ OECD Science, Technology and Industry Outlook 2008, p.83

При расчете соответствующих рейтингов использовались лишь общие затраты (последняя строка табл. 5), в связи с чем мягкий рейтинг (табл. 6) полу-

чился пропорциональным им (с учетом нормирования от 0 до 1).

Таблица 6

Результаты комплексной оценки общих затрат (государственных и частных инвестиций) на создание ГНСС

	Жесткий рейтинг	Мягкий рейтинг
США	100	100,00
Россия	0	0,04
Европа	0	0,00
Китай	0	0,39

В итоге при сравнении мягких рейтингов можно оценить качество управления созданием ГНСС, исходя из того, что желательным является достижение максимального целевого эффекта, тем ценнее,

чем при меньших затратах и с менее совершенной технологией оно достигнуто. Результаты приведены в табл. 7, 8.

Таблица 7

Сводные результаты оценки целевой эффективности, технологии и ресурсов на создание ГНСС (мягкий рейтинг)

	Целевая эффективность	Технология	Ресурсы
	макс	мин	мин
США	100	67	100,00
Россия	79	16	0,04
Европа	менее 1	40	0
Китай	менее 1	менее 1	0,39

Таблица 8

Результаты комплексной оценки качества управления при создании ГНСС

	Жесткий рейтинг	Мягкий рейтинг
США	33	17
Россия	41	36
Европа	0	14
Китай	26	17

Из табл. 8 следует, что в области создания ГНСС Россия сумела более эффективно распорядиться своими возможностями, чем другие страны. Следует еще раз оговориться, что в приведенном анализе не использовалась вся потенциально доступная информация, а лишь некоторые данные, поскольку основная цель написания данной статьи – демонстрация предлагаемого методического подхода, а не его результаты.

Список литературы

1. Малышев В.В., Пиявский Б.С., Пиявский С.А. Метод принятия решений в условиях многообразия способов учета неопределенности // Известия РАН. Теория и системы управления. 2010. № 1. С. 46–61.
2. Пиявский С.А. Два новых понятия верхнего уровня в онтологии многокритериальной оптимизации // Онтология проектирования. 2013. № 1 (7). С. 65–85.
3. Малышев В.В., Пиявский С.А. Метод «уверенных суждений» при выборе многокритериальных решений // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2015. № 5. – С. 90–101.
4. Пиявский С.А. Простой и универсальный метод принятия решений в пространстве критериев «стоимость – эффективность» // Онтология проектирования. 2014. № 3 (13). С. 89–102.
5. Пиявский С.А., Брусов В.С., Хвилон Е.А. Оптимизация параметров многоцелевых летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1974. 106 с.
6. Пиявский С.А., Бараховский Б.С. Блок обоснования решений в программном обеспечении

- МикроЭВМ // Центр программ и систем. Калинин, 1986. С. 7–10.
7. Смирнов О.Л., Падалко С.А., Пиявский С.А. САПР: формирование и функционирование проектных модулей. М.: Машиностроение, 1987. 272 с.
8. Пиявский С.А. Методы оптимизации и оптимального управления. Самара: СГАСУ, 2005. 184 с.
9. Ковков Д.В. Методика оценки влияния внутренних и внешних факторов на конкурентоспособность ракетно-космической отрасли при реализации крупных проектов // Экономика и управление в машиностроении. 2013. № 6. С. 49–51.
10. Ковков Д.В., Шамин Р.В. Обоснование приоритетных направлений развития ракетно-космической промышленности на основе математического моделирования // Микроэкономика. 2015. № 5. С. 39–45.

M.I.R. (Modernization. Innovation. Research)

ISSN 2411-796X (Online)

ISSN 2079-4665 (Print)

INNOVATION

COMPARATIVE MULTIOBJECTIVE ANALYSIS OF COMPLICATED TECHNICAL AND SOCIAL SYSTEMS IN TERMS OF ECONOMICS AND MANAGEMENT

Dmitrii Panov, Veniamin Malyshev,
Semen Piyavskii, Dzhordzh Kovkov

Abstract

The article is devoted to the comparative multiobjective analysis of complicated technical and social systems in terms of economics and management. The difficulty of carrying out such comparison is determined by multidimensionality of the target application, diversity and qualitative variety of separate system elements, dissimilarity of technological conditions, under which they are created, and analogues used for the comparison. It is not about choosing the one "best" solution out of several alternatives, how it is required having the traditional optimization task setting, but about the comparison of home object to its analogues. Usually the purpose of such comparison consists in the assessment of its comparative objective efficiency. However, the object compared is the product of the respective technological chain. The resources used to create the object and analogues compared are always different as well as technologies used to transform resources to end products. It is the reason for the new problem to assess the management quality of own object creation as compared to the analogues.

Objectives. The purpose is the development of effective approaches to the management quality assessment of complicated technical and social systems creation. Four multiobjective tasks of integral assessment are considered to solve the stated problem: objective efficiency assessment, assessment of all kinds of resources used, applied technology assessment and finally three-objective task to assess the management quality of object creation with assessed objective efficiency by using stated resources and technologies. The last task implies achievement of the highest objective efficiency with the use of less resource and less sophisticated technology that points at the higher management level. The stated task pertains to the class of multiobjective decision making where alternatives are distinguished by partial criteria and depend on the range of uncertain factors.

Methods. The methodology of solving this problem relies on the use of confident judgment method that allows making decision simply and on a reasonable basis taking into account only natural judgments. The stated method does not use artificial procedures, intended to formalize the task by means of searching the unique appropriate way to consider uncertainty, but takes into account the whole variety of such ways. Indeed the method allows identifying the rating of the required solution that represents the rate of uncertainty consideration ways whereby this solution is the best compared to other ones.

Results. Test approval of the proposed method application are illustrated through the management quality comparative analysis while creation of Global Navigation Satellite Systems (GNSS). Russian Global Navigation Satellite System (GLONASS) is compared to similar systems of the USA (GPS), Europe (Galileo) and China (Kompas/Beidou).

Conclusions and Relevance. The proposed approach has powerful capabilities and can be used in complex comparison to the existing analogues of complicated technical and social systems both being created and already in place. The method gives the possibility to acquire useful information about the quality and the efficiency of such systems and to elaborate recommendations regarding further development.

Keywords: multiobjective decisionmaking, partial criteria, uncertainty factors, confident judgment method, Global Navigatio Satellite Systems (GNSS).

Correspondence: Panov Dmitrii Vital'evich, Federal State Unitary Enterprise «Research and Production Association «Technomash» (40, 3-i proezd Mar'inoi Roshchi, Moscow, 127018), Russian Federation, info@tmnp.ru

Malyshev Veniamin Vasil'evich, Moscow Aviation Institute (National Research University) (4, Volokolamskoe shosse, Moscow, 125993), Russian Federation, mai604@mail.ru

Piyavskii Semen Avraamovich, Samara State University of Architecture and Civil Engineering (194, Molodogvardeyskaya street, Samara, 443001), Russian Federation, spiyav@mail.ru

Kovkov Dzhordzh Vladimirovich, Peoples Friendship University of Russia (6, Miklukho-Maklaya street, Moscow, 117198), Russian Federation, kovkov_dv@pfur.ru

Reference: Panov D. V., Malyshev V. V., Piyavskii S. A., Kovkov D. V. Comparative multiobjective analysis of complicated technical and social systems in terms of economics and management. *M.I.R. (Modernization. Innovation. Research)*, 2016, vol. 7, no. 2, pp. 74–83.

doi:10.18184/2079-4665.2016.7.2.74.83

References

1. Malyshev V.V., Piyavsky B.S., Piyavsky S.A. Metod prinyatiya reshenii v usloviyakh mnogoobraziya sposobov ucheta neopredelennosti [A decision making method under conditions of diversity of means of reducing uncertainty]. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2010, vol. 49, no. 1, pp. 44–58.
2. Piyavsky S.A. Dva novykh ponyatiya verkhnego urovnya v ontologii mnogokriterial'noi optimizatsii [Two new upper level concepts for the multi-criteria optimisation ontology]. *Ontology of Designing*, 2013, no. 1, pp. 65–85.
3. Malyshev V.V., Piyavsky S.A. Metod «uverennykh suzhdenii» pri vybore mnogokriterial'nykh reshenii [The confident judgment method in the selection of multiple criteria solutions]. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2015, vol. 54, no. 5, pp. 754–764.
4. Piyavsky S.A. Prostoi i universal'nyi metod prinyatiya reshenii v prostranstve kriteriev «stoimost' – effektivnost'» [A simple and universal method of decision making within the scope of criteria of «Cost and Efficiency»]. *Ontology of Designing*, 2014(13), no. 3, pp. 89–102.
5. Piyavsky S.A., Brusov V.S., Khvilon E.A. Optimizatsia parametrov mnogotselevykh letatelnykh apparatov [Optimization of Parameters of Multipurpose Aircrafts]. M.: Mashinostroenie, 1974. 106 p.
6. Piyavsky S.A., Barakhovskii B.S. Blok obosnovaniya reshenii v programmnom obespechenii MikroEVM [Block inform decisions in the microcomputer software]. Programs and Systems Center. Kalinin, 1986. 272 p.
7. Piyavsky S.A., Smirnov O.L., Padalko S.A., Piyavsky S.A. SAPR: formirovanie i funktsionirovanie proektnykh modulei [CAD: Formation and Functioning of Design Modules]. M.: Mashinostroenie, 1987. 272 p.
8. Piyavsky S.A. Metody optimizatsii i optimal'nogo upravleniya [Methods of optimization and optimal control]. Samara: SGASU, 2005. 184 p.
9. Kovkov D.V. Metodika otsenivlianiyavnutrennikh i vneshnikh faktorov na konkurentosposobnost' raketno-kosmicheskoi otrasli pri realizatsii krupnykh proektov [Technique to assess the influence of internal and external factors on competitiveness of space-rocket industry while implementing large projects]. *Ekonomika i upravlenie v mashinostroenii*, 2013, no. 6, pp. 49–51.
10. Kovkov D.V., Shamin R.V. Obosnovanie prioritnykh napravlenii razvitiya raketno-kosmicheskoi promyshlennosti na osnove matematicheskogo modelirovaniya [The issues of substantiation of priority directions of space-rocket industry development on the basis of mathematical simulation]. *Microeconomics*, 2015, no. 5, pp. 39–54.

