

DOI:

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИИ ПОЛЕЗНОСТИ АВТОМОБИЛЯ В СОСТАВЕ КОМПЛЕКСА БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Семенов С.С., Полтавский А.В., Русяева Е.Ю.

ГНПП «Регион», г. Москва, Россия,

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Россия,

г. Москва, ул. Профсоюзная д. 65

gnppregion@sovintel.ru, avp57avp@yandex.ru, rusyaeva@ipu.ru

Аннотация: Рассматривается подход к обоснованию функции полезности для получения первичных оценок к показателям качества сложных технических систем (СТС) в виде формализованной информационной модели с учетом согласованности экспертных оценок. В качестве объекта исследования СТС служит модель для грузового автомобиля с прицепом в составе многофункциональных комплексов с беспилотными летательными аппаратами. Представлены модель и алгоритмизация процесса формирования информационно-аналитической системы с полученными результатами по выбираемым показателям оценки технического уровня грузового автомобиля с прицепом.

Ключевые слова: комплексы с беспилотными летательными аппаратами, сложные технические системы (СТС), информационно-аналитическая система (ИАС), оценка качества, функции ценности (полезности), единичные оценочные показатели, технический уровень, коэффициент конкурдации

Введение

Современные многофункциональные комплексы с беспилотными летательными аппаратами (КБЛА), как объекты сложных технических систем (СТС), предполагают в своем составе различные по функциональному назначению автомобили (легковые, грузовые, грузовые с прицепом, беспилотные и т. д.). На современном этапе развития техники существенно возросла роль начальных этапов проектирования СТС, так как при этом затраты на исправление выявленных ошибок многократно возрастают на заключительной стадии жизненного цикла образца СТС при отработке и натурных испытаниях. Одним из инструментов выбора рациональных технических решений при создании нового образца техники, в частности КБЛА, может служить оценка его технического уровня (ТУ).

При оценке качества и ТУ данных СТС наряду с оценочными показателями часто используются функции ценности (полезности или предпочтения) [1]. В свою очередь, единичным оценочным показателем выступает параметр или характеристика, определяющая одно из множества свойств для многофункционального КБЛА, которая, в дальнейшем, существенным образом может повлиять на его функционирование и развитие. Для каждого типа из оценочных показателей в среде информационно-аналитической системы (ИАС) для объектов КБЛА, в принципе, может назначаться свой вид функции ценности. Функция ценности (или полезности) – это функция, которая устанавливает соответствие между значениями показателя ТУ и его оценками со шкалой от 0 до 1. Часто функция полезности (ценности) для качественных логических показателей является бинарной и принимает значение 0 или 1 в зависимости от того, желательно и важно данное свойство или нет, что недостаточно. Предлагаемый в работе практический подход и алгоритмы к выбору функции ценности направлены на выявление основных черт по предпочтению единичного числового оценочного показателя с варьируемой шкалой (0...1). Такой подход может быть применим к повышению достоверности в оценках ТУ многофункциональных КБЛА в целом.

1 Информационная модель к определению функций ценности к показателям многофункциональных комплексов беспилотных летательных аппаратов

Информационная модель для одного из этапов к формированию функции ценности (полезности) многофункциональных КБЛА является составной частью метода решения многокритериальных задач [2] и метода оценки технического уровня СТС [3]. Изначально, в работе [4] предложен метод оценки ТУ СТС с учетом функции ценности при определении рейтинга из альтернатив

$$R_j(i) = \sum W_{kj} \cdot U_{kj}(i),$$

(i)

где $R_j(i)$ – рейтинг i -ой рассматриваемой альтернативы в СТС по j -ому интегральному показателю, W_{kj} – вес для k -ого единичного оцениваемого показателя в j -ом интегральном показателе,

$U_{kj}(i)$ – значение функции ценности k -ого единичного показателя i -ой альтернативы j -ого интегрального показателя.

Общепринято, что типовая функция ценности определяется всего пятью точками, а значение для функции ценности каждого единичного показателя, равное 0,90, соответствует потенциально достижимым значениям параметров или характеристик; 0,50 – заданным в техническом задании (ТЗ) на СТС или общепринятым значениям; 0,1 – минимально-приемлемым значениям; 0,20 и 0,70 – промежуточным значениям между крайними значениями и принятым по ТЗ и характеризует вид выбранной функции ценности. Для синтезированных показателей вид для функция ценности часто определяется только по двум точкам: 0,50 – среднему значению характеристики; 0,1 – минимально-приемлемым значениям характеристики. Ниже излагается предлагаемый авторами информационная модель выбора функций ценности к СТС в общем, и для многофункциональных КБЛА, в частности.

Достоинством предлагаемой технологии, подхода и метода выбора функции ценности является выявление предпочтения единичного числового оценочного показателя на шкале от нуля до единицы для повышения достоверности оценки ТУ СТС. Это дает возможность производить оценку степени влияния данного и других единичных оценочных показателей на выполнение основных функций СТС в нормированном виде (т.е. независимо от размерности оценочного показателя) при определении нормированного ТУ СТС. Кроме того, появляется возможность определить граничные значения оценочных единичных показателей, т.е. диапазоны из допустимых изменений значений с помощью функций ценности. Для каждого типа показателя в ИАС назначается свой вид функции ценности.

В информационной модели и алгоритмах:

- производится разбиение всех оценочных единичных показателей на качественные (логические) и на количественные (числовые);
- каждая функция ценности для числовых показателей представляется в виде кривой из двух-пяти точек, для каждой точки экспертным путем указывается значение показателя и выбирается из списка значение функции ценности.

Алгоритмизацию к определению функций ценности единичных оценочных показателей СТС в ИАС рекомендуется осуществлять в следующем порядке:

1. Определение перечня единичных оценочных показателей.
2. Определение типа функции ценности для каждого единичного оценочного показателя.
3. Установление граничных значений единичных оценочных показателей.
4. Выбор функций ценности каждым экспертом.
5. Проверка степени согласованности экспертных оценок.

Исходной информацией для процедур является матрица опроса K -го эксперта, представленная в сводной табл. 1 (в ИАС представляют этапы – 1- 4).

Таблица 1. – Матрица из опроса K -го эксперта по формируемым значениям показателей.

Единичные показатели	Значения показателей для 5 точек функции ценности				
	$U_{ik1}(g_i) = 0,10$	$U_{ik2}(g_i) = 0,20$	$U_{ik3}(g_i) = 0,50$	$U_{ik4}(g_i) = 0,70$	$U_{ik5}(g_i) = 0,9$
g_1	g_{1k1}^{\min}	g_{1k2}^{R1}	g_{1k3}^{R2}	g_{1k4}^{R3}	g_{1k5}^{\max}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
g_i	g_{ik1}^{\min}	g_{ik2}^{R1}	g_{ik3}^{R2}	g_{ik4}^{R3}	g_{ik5}^{\max}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
g_n	g_{nk1}^{\min}	g_{nk2}^{R1}	g_{nk3}^{R2}	g_{nk4}^{R3}	g_{nk5}^{\max}

Количество таблиц-матриц определяется числом экспертов. Непосредственно в табл. 1 приняты следующие обозначения: $U_{ikk}(g_i)$ – функция ценности, которая устанавливает соответствие между значениями оценочного показателя и шкалой от 0 до 1; g_i – единичный оценочный показатель. Моделируемая функция ценности в ИАС однозначно устанавливает приоритеты между различными значениями единичного показателя. Формируемые значения табл. 2 определяют характер изменения функции ценности, которая, в свою очередь, имеет характер монотонно убывающей или возрастающей, линейной, выпуклой или вогнутой, S-образной, трапецидальной и т.п.

Согласно задачам в ИАС, целесообразно получить усредненные (по всем экспертам) показатели g_{ij} для каждой взятой j -той точки (из набора 5 точек) функции ценности (или предпочтения):

$$(1) \bar{g}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m g_{ikj}}{m},$$

где g_{ikj} – значение показателя табл. 2; $j=1, \dots, 5$ – точки функции; $K=1, \dots, m$; $i=1, \dots, n$; m – число экспертов; n – количество показателей.

Усредненные значения для моделируемых показателей показаны в сводной табл. 2.

Таблица 2 – Матрица значений показателей в компьютеризированной среде ИАС.

Единичные показатели	Осредненные значения показателей для 5 точек функции ценности				
	$U_{i1}(g_i) = 0,10$	$U_{i2}(g_i) = 0,20$	$U_{i3}(g_i) = 0,50$	$U_{i4}(g_i) = 0,70$	$U_{i5}(g_i) = 0,90$
g_1	\bar{g}_{11}^{\min}	\bar{g}_{12}^{R1}	\bar{g}_{13}^{R2}	\bar{g}_{14}^{R3}	\bar{g}_{15}^{\max}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
g_i	\bar{g}_{i1}^{\min}	\bar{g}_{i2}^{R1}	\bar{g}_{i3}^{R2}	\bar{g}_{i4}^{R3}	\bar{g}_{i5}^{\max}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
g_n	\bar{g}_{n1}^{\min}	\bar{g}_{n2}^{R1}	\bar{g}_{n3}^{R2}	\bar{g}_{n4}^{R3}	\bar{g}_{n5}^{\max}

Числовые значения в каждой строке табл. 2 определяют вид искомой функции ценности, но здесь возникает необходимость в проверке степени согласованности экспертов (это 5-ый этап). Согласованность экспертов в ИАС определяют с помощью коэффициента конкордации W_j [5]:

$$(2) W_j = 1 - \frac{12 \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m d_{ijk}^2}{m^2 (n^3 - n)},$$

где $i=1, \dots, n$ – показатели; $K=1, \dots, m$ – эксперты; $j=1, \dots, 5$ – точки функции ценности; d_{ijk} – нормированное отклонение текущего значения показателя g_{ikj} от его осредненной величины, определяемой по формуле (1).

Величина d_{ijk} оценивается по следующей формуле:

$$(3) d_{ijk} = \frac{\bar{g}_{ij} - g_{ijk}}{\bar{g}_{ij}},$$

если справедливо неравенство

$$(4) W_j \geq W_\delta$$

где W_δ – допустимое значение коэффициента конкордации, то результаты опроса экспертов можно признать согласованными. В противном случае необходимо скорректировать результаты опроса экспертов путем его повторного проведения.

2 Моделирование задачи по определению функций ценности оценки технического уровня грузового автомобиля с прицепом

В целях подтверждения предлагаемой технологии (подхода из представленных информационной модели и алгоритмов ИАС) к формированию функции ценности к объектам КБЛА приведем пример подобной решаемой задачи по определению функции ценности единичных показателей ТУ СТС [6].

Для примера имеем шесть основных единичных оценочных показателей для грузового автомобиля с прицепом в составе КБЛА:

- 1) скорость (U , км/ч);
- 2) вместимость (V , м³);
- 3) масса перевозимого груза (m_g , т);
- 4) масса снаряженного автомобиля (m_a , т);
- 5) угол разворота (α , град);
- 6) мощность двигателя (P , л.с.).

Моделируемые результаты будем фиксировать на рис. 1 (в нем представлены функции ценности для единичных оценочных показателей грузового автомобиля с прицепом, предложенные каждым из семи экспертов). Номера соответствующих линий для функций на каждой фигуре соответствуют номерам опрашиваемых экспертов в ИАС, а значения оценочных показателей сводим в таблицу для каждого эксперта*.

Соответственно, табл. 3 содержит данные по числовым значениям показателей для эксперта № 1, табл.4 содержит информацию о средних значениях показателей на основе информации от семи экспертов, таблицей 5 показаны разности между средними величинами единичного показателя и значениями этого показателя по мнению эксперта № 1. В таблицу под номером № 6 помещены нормированные значения разностей (полученные по формуле (3) с участием эксперта № 1).

Результаты табл. 7 – квадраты нормированных значений эксперта № 1 по всем точкам функций.

Итоги суммирования квадратов нормированных разностей и оценки коэффициента конкордации представлены в сводной табл. 8 по формуле (2). Очевидно, что W_j больше 0,99.

Это свидетельствует о хорошей согласованности экспертов, даже и при $W_0 = 0,80$ полученные средние значения функции ценности единичных показателей грузового автомобиля (см. табл. 9) можно принять за основу. Осредненные функции ценности в ИАС 6–ти оценочных показателей представлены (соответствующими пунктирными линиями) на рис. 1.

Таблица 3. – Моделируемые значения показателей эксперта № 1.

№ показателя	Значения показателей				
	$U_{i1}(g_i) = 0,10$	$U_{i2}(g_i) = 0,20$	$U_{i3}(g_i) = 0,50$	$U_{i4}(g_i) = 0,70$	$U_{i5}(g_i) = 0,90$
1	17,34	32,00	80,00	111,00	142,66
2	1,96	4,65	12,80	24,30	45,00
3	5,00	7,00	9,00	9,60	9,94
4	1,20	2,90	7,25	10,20	13,15
5	2,40	3,60	14,40	28,80	67,20
6	96,00	132,00	174,00	198,00	246,00

Таблица 4. Средние значения показателей по информации семи экспертов.

№ показателя	Средние значения показателей				
	$U_{i1}(g_i) = 0,10$	$U_{i2}(g_i) = 0,20$	$U_{i3}(g_i) = 0,50$	$U_{i4}(g_i) = 0,70$	$U_{i5}(g_i) = 0,90$
1	12,72	23,72	62,69	92,26	118,29
2	2,80	6,32	17,47	30,15	49,67
3	2,71	4,36	7,41	8,68	9,38
4	1,20	2,90	7,50	10,46	13,66
5	7,20	12,59	34,69	55,21	90,17
6	91,00	115,72	156,00	182,14	238,29

* Из-за ограничения объема статьи далее приводятся данные в соответствии с алгоритмом обработки данных только для эксперта № 1.

Таблица 5. Разности между средними величинами каждого из 6-ти единичного показателя и значениями этого показателя по мнению эксперта № 1.

№ показателя	Значения разности между значениями показателей				
	$U_{i11}(g_i) = 0,10$	$U_{i12}(g_i) = 0,20$	$U_{i13}(g_i) = 0,50$	$U_{i14}(g_i) = 0,70$	$U_{i15}(g_i) = 0,90$
1	4,62	8,28	17,31	18,74	24,37
2	0,84	1,67	8,47	5,85	4,67
3	2,29	2,64	1,59	0,92	0,56
4	0,00	0,00	0,25	0,26	0,51
5	4,80	8,99	10,29	26,41	22,97
6	5,00	16,28	18,00	15,86	7,71

Таблица 6. Нормированные значения разности для эксперта № 1.

№ показателя	Нормированные значения разности				
	$U_{i11}(g_i) = 0,10$	$U_{i12}(g_i) = 0,20$	$U_{i13}(g_i) = 0,50$	$U_{i14}(g_i) = 0,70$	$U_{i15}(g_i) = 0,90$
1	0,363	0,349	0,276	0,203	0,206
2	0,300	0,264	0,485	0,194	0,094
3	0,845	0,606	0,215	0,106	0,060
4	0,000	0,000	0,033	0,025	0,037
5	0,667	0,714	0,297	0,478	0,255
6	0,055	0,141	0,115	0,087	0,032

Таблица 7. Квадраты нормированных значений разности для эксперта № 1.

№ показателя	Квадраты нормированных значений разности				
	$U_{i11}(g_i) = 0,10$	$U_{i12}(g_i) = 0,20$	$U_{i13}(g_i) = 0,50$	$U_{i14}(g_i) = 0,70$	$U_{i15}(g_i) = 0,90$
1	0,1318	0,1218	0,0762	0,0412	0,0424
2	0,0900	0,0697	0,2350	0,0376	0,0088
3	0,7141	0,3666	0,0460	0,0112	0,0036
4	0,0000	0,0000	0,0011	0,0006	0,0014
5	0,4444	0,5099	0,0880	0,2288	0,0649
6	0,0030	0,0198	0,0133	0,0076	0,0010

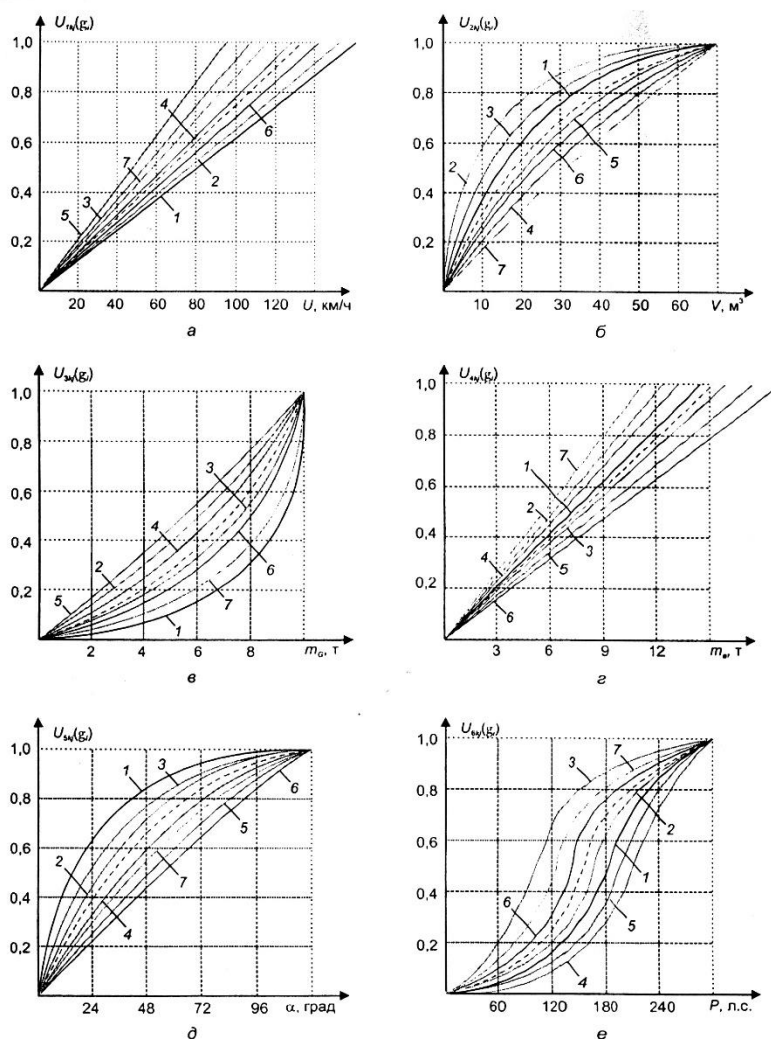
Таблица 8. Итоги суммирования и оценки W_j

	№ показателя	Суммы квадратов нормированных значений разности				
		$U_{i1}(g_i) = 0,10$	$U_{i2}(g_i) = 0,20$	$U_{i3}(g_i) = 0,50$	$U_{i4}(g_i) = 0,70$	$U_{i5}(g_i) = 0,90$
Промежуточные величины	1	0,4361	0,3063	0,2332	0,1990	0,1757
	2	2,5264	1,9499	1,4752	0,8658	0,3247
	3	1,1679	0,9005	0,2050	0,0507	0,0079
	4	0,1882	0,2996	0,2753	0,2256	0,2459
	5	1,3826	1,5900	0,8081	0,8098	0,1755
	6	0,8787	0,6337	0,3205	0,2392	0,0591
Σ		6,5799	5,6800	3,3173	2,3901	0,9888
W_j		0,9923	0,9938	0,9961	0,9972	0,9988

К одной из часто практикуемых автоматизированных программно-аппаратных компьютерных систем, использующих современные подходы и методы из теории принятия решений, реализующие информационные технологии, можно отнести ИАС «Оценка и выбор», предназначенную для оценки ТУ СТС различного назначения [2, 7]. Данная система позволяет учитывать зависимость ценности

оценочного показателя от его значения по пяти узловым точкам линейно-ломаной аппроксимации, т.е. предпочтения ЛПР. Информация выводится по результатам обработки данных, полученных из опроса экспертов, по представленным выше процедурам.

Ранее, по данному методу было разработано техническое устройство и создан алгоритм для определения функций ценности единичных оценочных показателей СТС, выдан патент РФ [8].



a – скорость U , км/ч; *б* – вместимость V , m^3 ; *в* – масса перевозимого груза m_c , t ; *г* – масса снаряженного автомобиля m_a , t ; *д* – угол разворота α , град; *е* – мощность двигателя P , л.с.

Рис. 1. Схематизация функции ценности для единичных оценочных показателей к определению технического уровня грузового автомобиля с прицепом в составе многофункционального КБЛА

Заключение

Современные информационные модели, алгоритмы и компьютеризированные методы оценки эффективности и качества продукции включают в себя разработки (различных по назначению) на основе создаваемых информационных систем, в том числе, и ИАС с методом принятия решений на основе экспертных оценок. Известно множество работ по системам поддержки принятия решений на основе компьютерных технологий и устройств для оценки экономической эффективности процесса управления сложными системами [9]. Однако, как показал анализ, предложенная в данной статье проблематика в области построения ИАС и информационной модели анализа функции ценности СТС для определения ТУ (в свете новых технологий в области идентификации алгоритмов и результатов

моделирования систем и объектов) к объектам КБЛА с учетом комбинированных подходов ранее не рассматривалась. То есть, формирование функции ценности единичных показателей по пяти точкам анализа функции ценности не предлагалось, а исходная информация с учетом случайных факторов вообще не рассматривалась ранее в известных ИАС.

Итак, резюмируем следующие положения:

1. В теоретических разработках и информационных моделях, а также и в практике, выбор и определение функций ценности единичных оценочных показателей является составной частью для метода решения многокритериальных задач по оценке технического уровня СТС в среде ИАС.
2. В работе представлен пример из реальных расчетов оценки ТУ грузового автомобиля с прицепом на основе формирования функций ценности единичных оценочных показателей при оценке ТУ, а также с использованием оценки согласованности экспертов. Показано, что такой подход по объединению (информационной модели, методов, алгоритмов и программ) позволяет осуществлять выбор с формированием функции ценности для каждого взятого единичного оценочного показателя в компьютеризированной среде ИАС для объектов многофункциональных КБЛА.
3. Полученные результаты исследований могут быть использованы для проектировщиков СТС на начальных этапах разработки при оценке возможных вариантов реализации СТС, а также определения ТУ на всех этапах жизненного цикла СТС.

Литература

1. *Фишберн П.К.* Теория полезности для принятия решений. Пер. с англ. – М.: Наука, 1978. – 352 с.
2. *Семенов С.С., Воронов Е.М., Полтавский А.В., Крянев А.В.* Методы принятия решений в задачах оценки качества и технического уровня сложных технических систем. – М.: ЛЕНАНД, 2016. – 520 с.
3. *Бомас В.В., Судаков В.А., Афонин К.А.* Поддержка принятия многокритериальных решений по предпочтениям пользователя. СПИР DSB/UTES. – М.: МАИ, 2006. – 172 с.
4. *Семенов С.С., Полтавский А.В., Крянев А.В.* Оценка технического уровня сложных систем (на примере создания многофункциональных комплексов беспилотных летательных аппаратов) // Фазотрон, 2013. № 3 (22). – С. 61-67.
5. *Литвак Б.Г.* Экспертная информация. Методы получения и анализа. – М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2009. – 225 с.
6. *Фасхиев Х.А.* Анализ методов оценки качества и конкурентоспособности грузовых автомобилей // Методы менеджмента качества. – 2001. – № 3. – С. 24-28; № 4. – С. 21-26.
7. *Семенов С.С.* Оценка качества и технического уровня сложных систем: Практика применения метода экспертных оценок. – М.: Ленанд, 2015. – 352 с.
8. *Бурба А.А., Семенов С.С., Щербинин В.В.* Устройство для определения функции ценности единичных оценочных показателей сложных технических систем. Патент № 2445687 РФ, Зарег. 20.03.2012 г. Бюл. № 8, МПК G06F 17/90.
9. *Полтавский А. В., Русяева Е. Ю., Бурба А. А.* Устройство для оценки экономической эффективности процесса управления сложными системами: Патент на изобретение № 2541859 РФ; Зарег. 16.01.2015.