



УДК 006.91:338, 006.91:658, 64.011.44
ГРНТИ 90.01.75, 06.75.61

МОДЕЛЬ НЕЧЕТКОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ КОМПЛЕКТА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ФОРМИРУЕМОГО ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ

Т.Ф. МАМЛЕЕВ

ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России (г. Мытищи)

Т.Н. СОЛДАТЕНКО, кандидат технических наук

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского (г. Санкт-Петербург)

В статье представлена модель нечеткого оценивания экономической эффективности комплекта измерительной техники для выполнения поверки средств измерений при выполнении измерительных задач. Проведен анализ результатов оценивания и обоснования варианта формирования комплектов измерительной техники.

Ключевые слова: нечеткий показатель, экономическая эффективность, комплект измерительной техники, метрологическое обеспечение, средства измерений.

MEASURING EQUIPMENT KIT EFFECTIVENESS FUZZY ECONOMIC ASSESSMENT MODEL

T.F. MAMLEEV

FSBI «MSMC» of the Ministry of defense of the Russian Federation (Mytishchi)

T.N. SOLDATENKO, Candidate of Technical sciences

The Mozhaisky Military and Space Academy (Saint Petersburg)

The article presents a model of the measuring equipment kit economic efficiency fuzzy estimation for performing verification of measuring instruments when performing measurement tasks. The measuring equipment kit option evaluation and justification results analysis is carried out.

Keywords: fuzzy indicator, economic efficiency, measuring equipment kit, metrological support, measuring instruments.

Введение. Анализ опыта применения сил и средств метрологического обеспечения (МЛО) показывает, что их основной задачей является поверка средств измерений (СИ). Зачастую, выполнить поверку СИ возможно только с привлечением выездных метрологических групп (ВМГ) из состава соответствующего метрологического подразделения, которые после ее выполнения возвращаются в места постоянного размещения организаций, из состава которых выделены.

Состав сил и средств ВМГ назначается с учетом потребности в поверке СИ. При этом ВМГ эксплуатируют средства поверки как в составе подвижных лабораторий измерительной техники (ПЛИТ), так и с использованием возимых комплектов средств поверки, формируемых под выполнение конкретной задачи.

Актуальность. Согласно [1], МЛО сложных образцов техники, эксплуатируемых в местах выполнения задач, является одним из важнейших факторов эффективного целевого использования данных объектов. Вместе с тем, доставка в удаленные места дислокации и последующая эксплуатация требуемого количества средств измерительной техники в указанных условиях сопряжена со значительными ресурсными затратами. При этом существенным



фактором является высокий уровень неопределенности экономической ситуации. Для данных случаев используемые известные подходы к оцениванию показателей эффективности разрабатываемых проектов поставки и эксплуатации измерительной техники становятся малоприменимыми.

Как правило, для учета неопределенности при решении подобных задач используется аппарат теории вероятностей. В частности, достаточно широко применяется сценарный метод, в котором вводятся вероятности вариантов возможных сценариев осуществления соответствующих проектов [1]. Однако дефицит имеющихся исходных данных затрудняет получение достаточно адекватных вероятностных моделей, описывающих требуемые характеристики. Кроме этого, для комплектов ИТ характерной является особенность оценивания уровня экономической эффективности их доставки и последующей эксплуатации.

В соответствии с требованиями нормативных документов для заключения об уровне экономической эффективности необходимо осуществить анализ финансовых потоков, образующихся при реализации каждого из сценариев [2, 3]. Требуется использовать оценки притоков, которые характеризуют целевое использование ИТ, оттоков, которые характеризуют текущие затраты на эксплуатационные мероприятия и размеры инвестиционных затрат. При оценивании уровня экономической эффективности, необходимо принимать во внимание, что количественная оценка притоков от результатов целевого применения достаточно затруднительна. Существующие модели сделать это не позволяют. Поэтому задача обоснования эффективности развертывания комплекта ИТ для эксплуатации в специальных условиях является актуальной.

Методы. Предлагается использовать сценарный метод оценивания эффективности проекта поставки и эксплуатации ИТ. Однако вместо вариантов каждого сценария для снижения уровня неопределенности применяются экспертные заключения о предполагаемых значениях составляющих финансовых потоков рассматриваемых сценариев анализируемого проекта. Один из способов решения указанной проблемы основан на применении теории нечетких множеств [4]. Для определения сценария проекта, предпочтительного по экономическому критерию, необходимо решить две частные задачи. Первая из них состоит в формировании показателя экономической эффективности проекта с учетом использования экспертных заключений. Вторая задача состоит в описании процедуры выбора требуемого по условиям задачи сценария проекта. Рассмотрим решение указанных задач.

Модель нечеткого показателя экономической эффективности комплекта ВИТ. Для оценивания экономической эффективности проекта поставки и эксплуатации комплекта ВИТ целесообразно использовать такой показатель, как чистый дисконтированный доход (ЧДД), получаемый за период T реализации проекта [1]. Для формирования данного показателя, как правило, используется наиболее полная информация о свойствах реализуемого проекта. Имея описание данного показателя, нетрудно получить и ряд других показателей экономической эффективности. Сформируем модель ЧДД с учетом использования экспертных заключений. При этом будем полагать, что в соответствии с требованиями руководящих документов [2, 3] формируются K сценариев реализации проекта.

Общее выражение для оценки D_k возможного ЧДД ($k = 1(1)K$) для каждого сценария имеет следующий вид (1):

$$D_k = \sum_{t=0}^T e_{kt} \cdot (A_{kt} - B_{kt} - C_{kt}), \quad k = 1(1)K, \quad (1)$$

где e_{kt} – коэффициент дисконтирования на шаге t проекта для k -го сценария;

A_{kt} – размер притока на шаге t проекта для k -го сценария;

B_{kt} – размер оттока на шаге t проекта для k -го сценария;

C_{kt} – размер капитальных вложений на шаге t проекта для t -го сценария;

$k = 1(1)K, t = 0(1)T$.



Значение коэффициента дисконтирования q_{ki} определяется с помощью соотношения (2):

$$e_{kt} = \frac{1}{(1+E_k)^t}, k = 1(1)K, t = 0(1)T, \quad (2)$$

где показатель E_k – ставка дисконтирования, принятая для k -го сценария ($k = 1(1)K$).

Будем полагать, что составляющие финансового потока, генерируемого проектом, формируются на основе экспертных заключений. Будем рассматривать две группы заключений экспертов о свойствах проекта. К первой группе относятся экспертные выводы, которые могут быть выражены количественно. Поэтому показатели, входящие в эту группу, являются нечеткими числами. В соответствии с правилами нечеткой логики будем задавать множество \tilde{A} значений нечеткого числа посредством функции принадлежности (далее – ФП) $\mu_{(\tilde{A})}(X)$ [3]. Во вторую группу включим экспертные заключения, формулируемые в терминах естественного языка. Для показателей финансового потока, которые формируются этими заключениями, будем использовать описания в виде лингвистических переменных, имеющих соответствующие термы [4]. Каждому из термов сопоставим нечеткое число, имеющее свою функцию принадлежности. С учетом особенностей целевого применения ИТ фактические значения данного показателя могут, например, рассматриваться, как величина достигаемой экономии мероприятий метрологического обеспечения за счет наличия в рассматриваемых условиях требуемой измерительной техники.

Представим описание показателей, входящих в состав выражений (1) и (2), с учетом уровня их неопределенности в рассматриваемой задаче. Будем рассматривать ставку дисконтирования E_k ($k = 1(1)K$) как четкое число в силу того, что ее значение задается для проектов с бюджетным финансированием директивно. Остальные показатели финансовых потоков будем рассматривать как нечеткие числа в том смысле, как они проанализированы для двух групп экспертных заключений. Выберем для использования в расчетах нечеткие переменные, имеющие функции принадлежности трапецевидной формы [4]. Выбор ФП такого вида обусловлен тем, что они относятся к (L, R) – функциям, с достаточно высоким уровнем разработки математического аппарата выполнения арифметических операций с нечеткими числами, имеющими такие функции принадлежности. Отметим, что в этом случае ФП $\mu_{(\tilde{A})}(X)$ описывается соотношениями

$$\mu_{(\tilde{A})}(X) = \begin{cases} 0, x < a_1; \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, a_1 \leq x < a_2; \\ 1, a_2 \leq x < a_3; \\ \frac{a_4-x}{a_4-a_3}, a_3 \leq x \leq a_4; \\ 0, x > a_4. \end{cases} \quad (3)$$

Таким образом, для каждого нечеткого числа \tilde{A} будем использовать следующую форму записи: $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$, где $a_1 - a_4$ являются характерными точками функции принадлежности вида (2) [4, 5].

При сделанных допущениях нечеткий чистый дисконтированный доход \tilde{D}_k может быть описан следующим образом

$$\tilde{D}_k = (d_1, d_2, d_3, d_4), k = 1(1)K. \quad (4)$$

Аналогичным образом могут быть представлены все нечеткие составляющие выражения (1).

Для определения частных показателей, входящих в выражение для ЧДД, необходимо выполнить следующие действия: операцию вычитания нечетких чисел, операцию деления



нечеткого числа на четкое и суммирование нечетких чисел. Указанные действия следует выполнить в соответствии с правилами нечеткой логики [4, 5].

Рассмотрим теперь решение задачи определения предпочтительного сценария реализации проекта доставки и последующей эксплуатации комплекта ВИТ.

Модель нечеткого ранжирования экспертных заключений о проекте.

Для принятия решения о выборе сценария проекта поставки и эксплуатации комплекта ВИТ необходимо упорядочить полученные нечеткие показатели \tilde{D}_k ($k = 1(1)K$) по их рейтингу. Очевидно, что предпочтительным является сценарий проекта, имеющий наивысший ранг. Для ранжирования вариантов воспользуемся методом Чанга [5]. Тогда модель $h(\tilde{A})$ уровня рейтинга нечеткого числа \tilde{A} с трапециевидной ФП имеет вид:

$$h(A) = \frac{a_3^2 + a_3 \cdot a_4 + a_4^2 - a_1^2 - a_1 \cdot a_2 - a_2^2}{6} \quad (5)$$

Для принятия решения необходимо упорядочить полученные значения $h(\tilde{A})$ по убыванию. Результатом выбора является сценарий, у которого наибольшее значение D^* , $D^* \in \{\tilde{D}_k\}$.

Проиллюстрируем рассмотренный в данной работе метод на расчетном примере.

Анализ результатов нечеткого экономического оценивания результативности комплекта измерительной техники.

Рассматривается проект поставки и последующей эксплуатации комплекта ИТ. Предполагаемая длительность использования техники составляет четыре года. Все переменные, имеющие физический смысл финансовых показателей, приводятся в условных расчетных единицах.

Возможные капитальные затраты на поставку и развертывание комплекта, текущие затраты на обеспечение его функционирования, а также значения достигаемой результативности определяются по результатам экспертного оценивания. При этом значения капитальных и текущих затрат рассматриваются в форме нечетких чисел, которые имеют трапециевидные функции принадлежности. Заключение по экономической результативности целевого применения комплекта ИТ оценивается с помощью лингвистической переменной (ЛП) \tilde{L} «результат». Этот показатель зависит от состава комплекта ИТ и решаемых им целевых задач. Данный показатель имеет физический смысл значения притока в выражении (1) для ЧДД анализируемого проекта. При этом ЛП \tilde{L} выражается через термы «хорошо», «очень хорошо», «отлично». Каждому из указанных термов ЛП сопоставляется нечеткое число $\tilde{\theta}_j$ ($j=1(1)3$), которое имеет трапециевидную функцию принадлежности, $\tilde{\theta} = (\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4)$. Вид функций принадлежности термов ЛП «результат» представлен на рисунке 1.

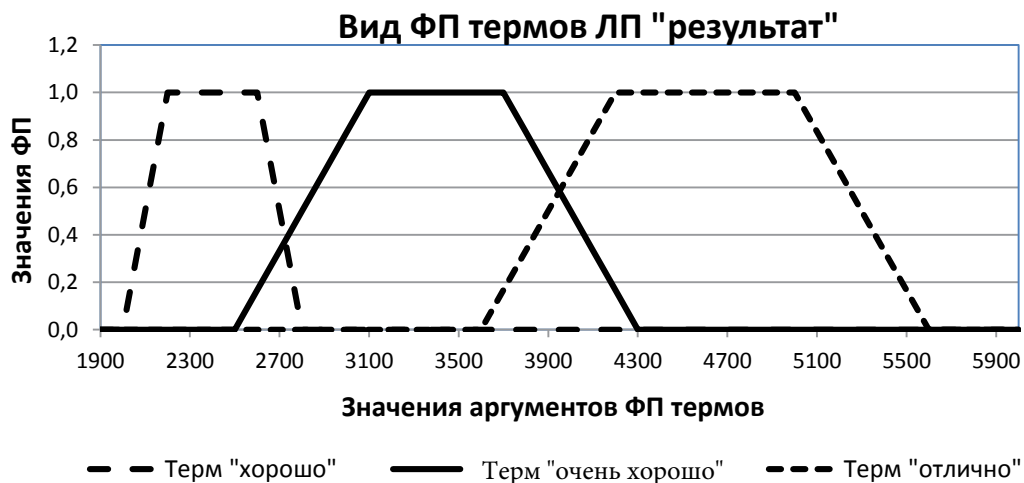


Рисунок 1 – Функции принадлежности термов ЛП «результат»



Ставка дисконтирования по данному проекту рассматривается как четкое число, поскольку этот показатель задается директивно.

Для данного проекта сформированы три сценария его реализации. Числовые показатели для первого сценария по шагам проекта приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Числовые показатели сценария 1 по шагам проекта

Номер шага	Капитальные затраты (C_{1i})				Текущие затраты (B_{1i})			
	c_{1i1}	c_{1i2}	c_{1i3}	c_{1i4}	b_{1i1}	b_{1i2}	b_{1i3}	b_{1i4}
0	2000,00	3000,00	4000,00	5000,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	0,00	0,00	0,00	200,00	300,00	500,00	600,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	200,00	300,00	500,00	600,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	200,00	300,00	500,00	600,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	200,00	300,00	500,00	600,00

Ставка дисконтирования E_1 по данному сценарию равна 0,15. Для ЛП \tilde{L} «результат» для сценария 1 соответствует терм $\tilde{\theta}_1$ «хорошо».

Числовые показатели для второго сценария по шагам проекта приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Числовые показатели сценария 2 по шагам проекта

Номер шага	Капитальные затраты (C_{2i})				Текущие затраты (B_{2i})			
	c_{2i1}	c_{2i2}	c_{2i3}	c_{2i4}	b_{2i1}	b_{2i2}	b_{2i3}	b_{2i4}
0	2200,00	3200,00	4200,00	5200,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	0,00	0,00	0,00	400,00	600,00	800,00	900,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	400,00	600,00	800,00	900,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	400,00	600,00	800,00	900,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	400,00	600,00	800,00	900,00

Ставка дисконтирования E_2 по данному сценарию равна 0,15. Для ЛП \tilde{L} «результат» для сценария 3 соответствует терм $\tilde{\theta}_2$ «очень хорошо».

Числовые показатели для третьего сценария по шагам проекта приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Числовые показатели сценария 3 по шагам проекта

Номер шага	Капитальные затраты (C_{3i})				Текущие затраты (B_{3i})			
	c_{3i1}	c_{3i2}	c_{3i3}	c_{3i4}	b_{3i1}	b_{3i2}	b_{3i3}	b_{3i4}
0	3400,00	4800,00	7200,00	9000,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	0,00	0,00	0,00	600,00	800,00	900,00	1200,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	800,00	1000,00	3000,00	5000,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	800,00	1000,00	3000,00	5000,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	800,00	1000,00	3000,00	5000,00

Ставка дисконтирования E_3 по данному сценарию равна 0,15. Для ЛП \tilde{L} «результат» для сценария 3 соответствует терм $\tilde{\theta}_3$ «отлично».

Нулевой шаг реализации проекта соответствует этапам формирования, доставки и развертывания комплекта ИТ. Все капитальные затраты осуществляются на этом шаге проекта.

Поясним формирование исходных данных к сценариям. Предполагается, что определяющим фактором для результативности комплекта ИТ является состав образцов средств измерений. Это означает, что чем больше номенклатура этих образцов, тем, соответственно, больше объектов может быть метрологически обеспечено. При этом возрастает результативность применения комплекта. Вместе с тем, увеличение состава комплекта ИТ приводит к повышению затрат, как на доставку, так и обеспечение работоспособности средств измерений при эксплуатации.

Необходимо. Определить предпочтительный с экономической точки зрения вариант сценария проекта доставки и эксплуатации в течение четырех лет комплекта ИТ.



Решение. Рассмотрим подробно решение задачи для первого сценария. Для второго и третьего сценариев приведем только окончательные результаты.

Значения коэффициентов дисконтирования по шагам проекта приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Расчетные значения коэффициентов дисконтирования по шагам проекта

Шаг реализации проекта				
0	1	2	3	4
1	0,870	0,756	0,658	0,572

Показатели нечетких дисконтированных значений результатов проекта по его шагам приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Нечеткие дисконтированные значения результатов по шагам проекта

Номер шага	a_{1i1}	a_{1i2}	a_{1i3}	a_{1i4}
0	0,00	0,00	0,00	0,00
1	1739,13	1913,04	2260,87	2434,78
2	1512,29	1663,52	1965,97	2117,20
3	1315,03	1446,54	1709,54	1841,05
4	1143,51	1257,86	1486,56	1600,91

Показатели нечетких дисконтированных значений текущих затрат проекта по его шагам приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Нечеткие дисконтированные значения текущих затрат по шагам проекта

Номер шага	b_{1i1}	b_{1i2}	b_{1i3}	b_{1i4}
0	0,00	0,00	0,00	0,00
1	173,91	260,87	434,78	521,74
2	151,23	226,84	378,07	453,69
3	131,50	197,25	328,76	394,51
4	114,35	171,53	285,88	343,05

Показатели нечетких дисконтированных значений интегральных эффектов проекта по его шагам (слагаемые в правой части формулы (1)) приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Нечеткие дисконтированные значения интегральных эффектов

Номер шага	$a_{1i1}-b_{1i1}-c_{1i1}$	$a_{1i2}-b_{1i2}-c_{1i2}$	$a_{1i3}-b_{1i3}-c_{1i3}$	$a_{1i4}-b_{1i4}-c_{1i4}$
0	-5000,00	-4000,00	-3000,00	-2000,00
1	1217,39	1478,26	2000,00	2260,87
2	1058,60	1285,44	1739,13	1965,97
3	920,52	1117,78	1512,29	1709,54
4	800,45	971,98	1315,03	1486,56

Используя таблицу 7, получаем нечеткое значение \bar{D}_1 ЧДД: $\bar{D}_1 = (-1003,03; 853,46; 3566,45; 5422,94)$.

Аналогичным образом получаем нечеткие значения ЧДД для второго и третьего сценариев. Совокупность полученных значений $\bar{D}_k = (d_{k1}, d_{k2}, d_{k3}, d_{k4})(k=1(1)3)$ приведена в таблице 8.



Таблица 8 – Нечеткие значения ЧДД для сценариев проекта

Номер сценария	Параметры нечеткого значения ЧДД			
	d_{k1}	d_{k2}	d_{k3}	d_{k4}
Первый сценарий	-1003,03	853,46	3566,45	5422,94
Второй сценарий	-632,03	2366,45	5650,43	8934,42
Третий сценарий	-9692,62	-1947,94	6793,83	10477,81

Решим теперь задачу ранжирования рассматриваемых сценариев проекта по нечеткому значению ЧДД. Для этого вычисляются числа Чанга h_k ($k=1(1)3$) по формуле (5). Полученные значения указанных показателей приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Значения чисел Чанга для сценариев проекта

Сценарий 1	Сценарий 2	Сценарий 3
10098354	26288436	18417160

Из таблиц следует, что на первом месте по экономической эффективности находится второй сценарий проекта, на втором месте – третий сценарий, на третьем месте – первый сценарий.

Таким образом, решением данной задачи является выбор второго сценария реализации проекта доставки, развертывания и эксплуатации комплекта ВИТ.

Выводы. Полученные в работе результаты позволяют сделать вывод о том, что использование нечетких показателей характеристик проекта доставки, развертывания и эксплуатации комплекта ИТ за заданный период дают возможность использовать опыт и знания экспертов при неопределенности условий реализации проекта. Разработанные модели и расчетные соотношения могут быть применены при обосновании сценария проекта использования комплекта ИТ с учетом различных сочетаний значений характеристик его результативности при существенной неопределенности данных о предстоящей эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция) // Экономика. 2000. № 2.
2. Российская Федерация. Федеральный закон «Об инвестиционной деятельности в Российской Федерации, осуществляемой в форме капитальных вложений» № 22-ФЗ. Москва. 2000.
3. Пospelov Д.А. Нечёткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. М: Наука, 1986. 312 с.
4. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. Москва: Мир, 1976. 167 с.
5. Chui, Y.C., Chan, S.P. «Fuzzy cash flow analysis using present worth criterion / Engineering Economist», No. 39, 1994. P. 113–138.

REFERENCES

1. Metodicheskie rekomendacii po ocenke `effektivnosti investicionnyh proektov (vtoraya redakciya) // `Ekonomika. 2000. № 2.
2. Rossijskaya Federaciya. Federal'nyj zakon «Ob investicionnoj deyatel'nosti v Rossijskoj Federacii, osuschestvlyaemoj v forme kapital'nyh vlozhenij» № 22-FZ. Moskva. 2000.
3. Pospelov D.A. Nechetkie mnozhestva v modelyah upravleniya i iskusstvennogo intellekta. M: Nauka, 1986. 312 p.



4. Zade L.A. Ponyatie lingvisticheskoy peremennoj i ee primenenie k prinyatiyu priblizhennyh reshenij. Moskva: Mir, 1976. 167 p.

5. Chui, Y.C., Chan, S.P. «Fuzzy cash flow analysis using present worth criterion / Engineering Economist», No. 39, 1994. p. 113–138.

© Мамлеев Т.Ф., Солдатенко Т.Н., 2020

Мамлеев Тимур Фанильевич, начальник, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главный научный метрологический центр» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, 141006, г. Мытищи, ул. Комарова, 13, mamleevtimur@mail.ru.

Солдатенко Татьяна Николаевна, кандидат технических наук, старший преподаватель, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Россия, 197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13, soldatenko-tn@bk.ru.