

---

УДК 330.3

ББК 65.05

*Регион: экономика и социология, 2012, № 2 (74), с. 188–205*

## **НЕЧЕТКО-МНОЖЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ РЕГИОНАЛЬНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЕКТОВ**

**И.А. Беспалов**

*Сибирский государственный университет путей сообщения*

### **Аннотация**

Предлагается методический подход к выбору альтернативы из числа конкурирующих при принятии решения об инвестировании крупномасштабного регионально-транспортного проекта, базирующийся на принципах теории нечетких множеств. На основе этого подхода проводится анализ конкурирующих альтернатив на примере проекта мостового перехода на о. Русском. Рассчитываются затраты по альтернативам проекта, анализируется сетевой календарный план строительства предусмотренных проектом объектов. Допустимое по сетевым ограничениям множество календарных планов оценивается по соотношению «риск – затраты» и на этой основе строится размытое множество Парето-оптимальных планов. По результатам проведенных расчетов даются рекомендации относительно корректировки календарного плана.

**Ключевые слова:** инвестиции, регионально-транспортный проект, эффективность, альтернативы, затраты, теория нечетких множеств, календарный план, резервы времени

### **Abstract**

The paper offers an approach to support decision-making on selecting an investment project among alternative large-scaled transportation projects. This approach is based on principles of fuzzy set theory. Using this approach, we analyze the competitive projects on construction a bridge connecting the Russky

Island. For this purpose we calculate and analyze the costs of alternative projects and their planned timing schedules. We present a cost- risk assessment of a set of timing schedules admissible within network constraints to compute a fussy set of Pareto-optimal plans. We also present our recommendations on how any timing schedule could be corrected.

**Keywords:** investments, regional transportation project, efficiency, alternatives, costs, fuzzy set theory, timing schedule, time reserves

Проектирование мостового перехода в Приморском крае между материком и о. Русским началось в 2007 г. Это будет крупнейший мост протяженностью 1,6 км через пролив Босфор Восточный. Строительными нормами и правилами такой мост определяется как уникальный. При его проектировании необходимо учесть ряд серьезных факторов, связанных с условиями судоходства, а также со сложнейшими геологическими, климатическими и сейсмическими особенностями региона.

В ходе проектирования разработаны альтернативные варианты моста: вантовый и подвесной. Учитывая особенности технологии сооружения указанных типов мостов, влияющие на уровень рисков возникновения аварийных ситуаций в ходе монтажных работ, в настоящей статье мы концентрируем внимание на экономических характеристиках рассматриваемых альтернатив и пытаемся выяснить экономические преимущества одной из них с помощью модели денежного потока в каждом из сравниваемых проектов. Эта сильно агрегированная стоимостная модель является динамической и отражает конфигурацию притоков и оттоков денежных средств в течение жизненного цикла проекта в поквартальном разрезе.

Прежде всего следует указать, что здесь для краткости термином «мост» обозначается мостовой переход, понимаемый как комплекс сооружений, возводимых при устройстве автомагистрали через пролив Босфор Восточный для соединения материковой части в районе г. Владивостока с о. Русским. В состав мостового перехода входят собственно мост, насыпи подходов к нему, регуляционные и берегоукрепительные сооружения, предотвращающие размыв берегов и насыпей подходов. Таким образом, при анализе конкурирующих вариантов проекта следует исходить из предположения, что капитальные затра-

ты, исключая сооружение собственно мостов, одинаковы. При сравнительной оценке альтернатив с помощью модели денежного потока предполагается, что проекты «мост вантовый» и «мост подвесной» различаются только капитальными затратами в период строительства. Доходы и расходы всех видов в эксплуатационном периоде и продолжительность этого периода принимались одинаковыми для обоих мостов.

В рамках сформулированных предпосылок стандартная модель денежного потока, где в качестве критерия оценки предпочтительности сравниваемых проектов выступал показатель ЧДД (NPV), модифицируется следующим образом [1]:

$$NPV = -\sum_{t=1}^n \frac{I_t}{(1+r)^t} + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t}, \quad (1)$$

где  $I_t$  – вложение средств в году  $t$ ;  $CF_t$  – поступления денежных средств на конец года  $t$ ;  $r$  – ставка дисконтирования. Предпочтительным считается проект, доставляющий максимум показателю NPV.

В силу принятых предпосылок вторые слагаемые в формуле (1) – дисконтированные суммы поступлений денежных средств за период эксплуатации для сравниваемых проектов равны между собой. Тогда предпочтительным является проект, обеспечивающий минимум капитальных затрат на сооружение моста, приведенных к кварталу начала строительства по ставке  $r/4$ , что эквивалентно максимизации NPV за жизненный цикл проекта. Дальнейшее изложение методики оценки сравнительной эффективности вариантов моста опирается на данную модификацию стандартной модели.

Для учета фактора неопределенности (риска) в стандартных моделях обычно применяется вероятностный подход [2]. В нашем случае, поскольку речь идет об уникальном проекте, фактор неопределенности учитывается при оценке ожидаемой сравнительной эффективности альтернатив на основе теории размытых множеств.

Основы теории нечетких множеств изложены в пионерной работе Л. Заде [3], а также освещаются в публикациях [4–6]. Операции с нечеткими множествами применительно к финансовому анализу инвестиционных проектов описаны А.О. Недосекиным [7–9]. Наша версия

использования идей указанных работ при решении проблемы выбора наилучшего из технически возможных вариантов моста, перекрывающего пролив Босфор Восточный, состоит в следующем. В публикуемой в этом же номере журнала статье Е.Б. Кибалова, А.А. Кина и А.Б. Хуторецкого (см. с. 161–187) представлена общая модель, на основе которой сравнивались стратегические альтернативы: мост, тоннель или паром – и был выбран мост. Задача выбора варианта моста в терминах размытых множеств формализуется нами как  $X \times Y \rightarrow S$ , где  $X$  – четкое множество допустимых альтернатив;  $Y$  – нечеткое множество возможных состояний (сценариев развития) внешней среды проекта;  $S$  – нечеткое множество возможных исходов.

Следуя теории Л. Заде, можно утверждать, что любое взаимодействие с участием нечетких множеств факторов не может давать четкий результат. Иными словами, результат такого взаимодействия всегда будет нечетким.

Таким образом, интерпретация реализационной структуры  $\langle X, Y, S \rangle$  принимает вид: при взаимодействии конкретно определенной альтернативы  $X$  с нечетким состоянием внешней среды  $Y$  порождается нечеткий исход  $S$ .

Данные об ожидаемых (недисконтированных) инвестициях в проект «мост» в обоих вариантах во временной развертке приведены на эпюре капитальных затрат, отображенной на рис. 1, и в табл. 1.

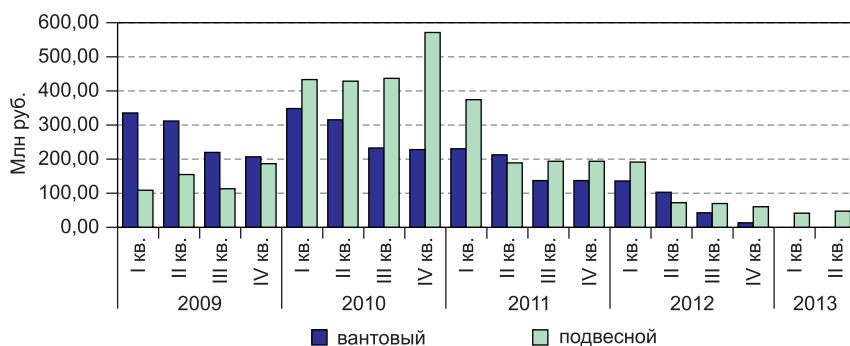


Рис. 1. Эпюра ожидаемых (недисконтированных) затрат по проектам моста на этапе строительства

Таблица 1

**Ожидаемые (недисконтированные) капитальные затраты проектов, млн руб.**

Проект	Год	Квартал				Суммарно
		I	II	III	IV	
Вантовый мост	2009	335,61	313,18	220,12	205,55	3215,00
	2010	348,00	316,85	231,20	226,34	
	2011	229,14	213,82	138,39	138,39	
	2012	136,89	103,43	44,45	13,65	
Подвесной мост	2009	108,50	156,87	111,07	188,79	3867,00
	2010	433,20	431,00	435,49	572,29	
	2011	374,23	190,35	192,44	192,44	
	2012	190,35	71,87	69,45	61,57	
	2013	41,37	45,71	–	–	

Приведение капитальных затрат за период строительства к I кв. 2009 г. позволило исчислить их дисконтированные суммы для каждого проекта по формуле (1) при ставке дисконта  $r = (12/4)\%$  квартальных. Для моста вантового искомая сумма составила 2667,69 млн руб., для моста подвесного – 3077,51 млн руб. Следовательно, при детерминированной оценке по стандартной модели предпочтительным является вантовый мост, но без учета риска, который возникает из-за возможного обрушения моста как следствие принятой схемы его монтажа\*. Собственно, для того чтобы выяснить, останется ли вантовый мост при должном учете указанного риска предпочтительнее моста

\* Риск обрушения при реализации альтернативы «вантовый мост» связан с особенностью технологии его строительства: при монтаже будет необходимо обеспечить устойчивость в горизонтальной плоскости двух более чем 0,5-километровых консолей, надвигаемых навстречу друг другу с береговых пилонов на 600-метровых вантах и стыкуемых на высоте 70 м над водой. Порывы ветра в районе стыковки могут достигать 40 м/с. При боковом ветре такой скорости даже стоящий автомобиль сносится с дороги, а безопасный монтаж подобных конструкций гарантирован только при скорости 11 м/с.

подвесного, и применяется инструментарий нечетких множеств для сравнительной оценки.

Для анализа эффективности проектов по модифицированной формуле (1) в терминах размытых множеств можно применить трапециевидные либо треугольные нечеткие числа. Однако трапециевидное описание требует идентификации как минимум двух точек на оси затрат, определяющих вилку возможных инвестиций. Рассматриваемые в примере проекты на момент анализа имели лишь одну точку, отражающую приблизительный уровень капитальных затрат. Поэтому для описания возможных объемов инвестиций нами применены треугольные нечеткие числа.

Приведем некоторые общие определения, касающиеся понятия «треугольное число», в увязке с нашим числовым примером. Треугольное число на плоскости формализуется как  $[X; \mu(x)]$ , где:

$X$  – нормализованное представление денежного потока. Увеличение эффективности (полезности) показателя принимается слева направо, т.е. от 0 к 1. Применительно к анализу затрат двух вариантов проекта наименее затратный из них будет находиться правее;

$\mu(x)$  – степень принадлежности [3]. Представляет собой любое вещественное число от 0 до 1 включительно. Отображение функции  $\mu$  элемента в значение 0 указывает на то, что элемент не принадлежит к данному множеству. Значение 1 описывает полную принадлежность элемента к множеству. Значения, лежащие строго между 0 и 1, характеризуют «нечеткие» элементы.

Поскольку данный показатель отличен от вероятности, при его описании используются лингвистические термины, например «приблизительно», «около», «в районе», «близко к», подчеркивающие нечеткость понятия. Так, интерпретируя затраты в 3 млрд руб. со степенью принадлежности 0,5, мы имеем право утверждать: «затраты в 3 млрд руб. возможны с вероятностью приблизительно 50%» либо «затраты около 3 млрд руб. имеют возможность возникновения 50%» и т.д.

В целях компактной записи треугольные функции принадлежности  $\mu(x)$  описываются треугольными числами  $\beta(a_1, a_2, a_3)$  [7], где  $a_1, a_3$  –

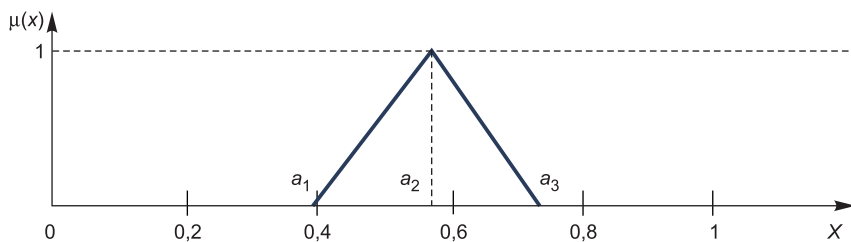


Рис. 2. Пример треугольного нечеткого числа

абсциссы нижнего основания;  $a_2$  – абсцисса вершины треугольника. Пример треугольного нечеткого числа графически представлен на рис. 2.

Показанные выше затраты отображают ожидания инвестора в наиболее вероятном сценарии, образуя точки  $a_2$  треугольной функции принадлежности. Определение значений  $a_1$  и  $a_3$  связано с пересечением множества альтернатив и нечеткого множества состояний внешней среды проекта. Рассмотрим ситуацию, когда эксперты определили, что предельно возможные изменения стоимости мостов в оптимистическом и пессимистическом сценариях составят 25% от средних ожидаемых затрат.

Также в пессимистическом сценарии проекта «вантовый мост» возможны «критические» затраты, связанные с вероятностью обрушения моста при монтаже. По предварительным оценкам экспертов, возможность возникновения обозначенной аварийной ситуации определяется на уровне 0,1 (т.е. очень низкая). В случае ее наступления потребуется увеличение финансирования проекта на сумму, приблизительно равную половине его первоначальной стоимости. Такой тип затрат изменяет форму «пессимистического» отрезка функции принадлежности, но для наглядности примера сначала отобразим данные затраты отдельной функцией принадлежности и в дальнейшем суммируем ее с функцией принадлежности проекта вантового моста.

Опираясь на представленную информацию, рассчитаем значения  $a_1, a_2, a_3$  для числа  $\beta_{\text{вант. обруш.}}$ , представляющего суммарные затраты, связанные только с обрушением моста при монтаже. В расчетах будем отталкиваться от уже имеющихся точек в оптимистическом, песси-

Таблица 2

**Недисконтированные затраты по проектам, млн руб.**

Вариант проекта	$a_1$ (125%)	$a_2$ (100%)	$a_3$ (75%)
Вантовый мост	4018,75	3215,0	2411,25
Вантовый мост (обрушение)	6028,13	4822,5	3616,88
Подвесной мост	4833,75	3867,0	2900,25

Таблица 3

**Треугольные числа проектов**

Вариант проекта	$a_1$	$a_2$	$a_3$
Вантовый мост	0,28	0,42	0,57
Вантовый мост (обрушение)	0,00	0,20	0,40
Подвесной мост	0,17	0,33	0,50

мистическом и наиболее вероятном сценариях проекта «вантовый мост» (табл. 2).

Приведем к первому кварталу строительства по ставке  $r = (12/4)\%$  капитальные затраты, соответствующие полученным точкам. Нормируем полученные затраты к максимальному значению. Вычтем полученные значения из единицы (табл. 3).

Отообразим две полученные функции принадлежности проекта вантового моста графически как  $A'_{вант.}$  и  $A''_{вант.}$  при безаварийном и аварийном сооружении соответственно. При этом функцию  $A''_{вант.}$  расположим так, чтобы она проходила через точку  $a_2^{вант. авар.}$  со степенью принадлежности, приблизительно равной 0,1 (рис. 3).

Следующим логическим шагом будет суммирование функций принадлежности проекта вантового моста. Но в теории нечетких множеств нет понятий сложения, вычитания, умножения и т.д., лежащих в основе традиционной математики. Л. Заде [3] определил умножение нечетких множеств (пересечение, And) как операцию поиска



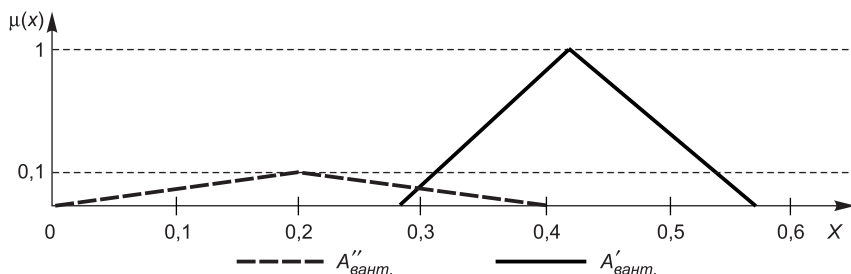


Рис. 3. Функции принадлежности проекта вантового моста

минимума ( $\min$ ), а сложение (слияние множеств, Or) – как поиск максимума ( $\max$ ). Поэтому результирующая функция  $A_{\text{вант.}}$  примет вид:  $A_{\text{вант.}} = \sup(A' \cap A'')$ .

Отобразим графически полученные функции принадлежности обоих проектов (рис. 4).

Степени принадлежности, описанные функцией  $\mu(x)$  отражают возможности возникновения определенных капитальных затрат за период сооружения того или иного варианта моста. Другими словами, чем меньше степень принадлежности, тем меньше возможность актуализации затрат данного объема. Представим некоторую линию, параллельную оси абсцисс, – линию возможности. Перемещая ее по вертикали, мы анализируем капитальные затраты при примерно равном уровне возможности их актуализации. Проводя такой анализ, т.е. двигаясь сверху вниз, мы в пространстве  $\mu - X$  координат фиксируем, что значения  $x$  проекта вантового моста являются лучшими по отноше-

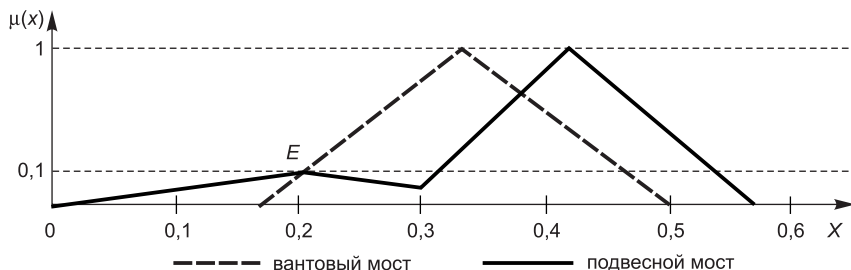


Рис. 4. Функции принадлежности проектов

нию к аналогичным значениям проекта подвесного моста при примерно одинаковом уровне принадлежности.

Переместившись до значения  $\mu \approx 0,1$ , определяем точку  $E$  (см. рис. 4), в которой затраты в пессимистических сценариях этих проектов примерно равны. Однако оптимистические значения  $x$  по-прежнему указывают на доминирование проекта «вантовый мост» над проектом «подвесной мост». Продолжая сдвигать линию анализа к нулевой точке ординат, получаем резкое увеличение затрат в пессимистическом сценарии проекта «вантовый мост». Колебания затрат в проекте «подвесной мост» на этом отрезке являются незначительными относительно точки  $E$ .

Основываясь на проведенном анализе, можно сделать вывод, что проект «вантовый мост» является предпочтительным. Но в случае если инвестор – крайний пессимист, т.е. нацелен на инвестиции, располагающиеся на уровне  $\mu \approx [0; 0,1]$  пессимистической области функций принадлежности, наиболее предпочтительной становится альтернатива «подвесной мост».

С целью углубления анализа и выявления оптимального плана строительства вантового моста был построен сетевой график проекта (рис. 5). Критический путь в сетевом графике, построенном с временным дискретом 1 мес, показан жирными стрелками, а все «некритические» работы, которые можно сдвигать в пределах резервов времени к моменту завершения проекта (без увеличения критического пути и нарушения порядка предшествования), помещены в область ранних возможных сроков реализации. Таким образом, получаем «левый» план, т.е. план, в котором все работы начинаются в ранние сроки. Если же «некритические» работы начинать в наиболее поздние сроки, то получим «правый» план (табл. 4).

Отталкиваясь от приведенной информации, можно на данном этапе расширить нечетко-множественный анализ, а именно, перестроить треугольные функции принадлежности в трапециевидные вида  $\beta(a_1, a_2, a_3, a_4)$  [9], где числа  $a_2, a_3$  верхнего основания трапеции будут представлены дисконтированными инвестициями согласно левому и правому планам соответственно.

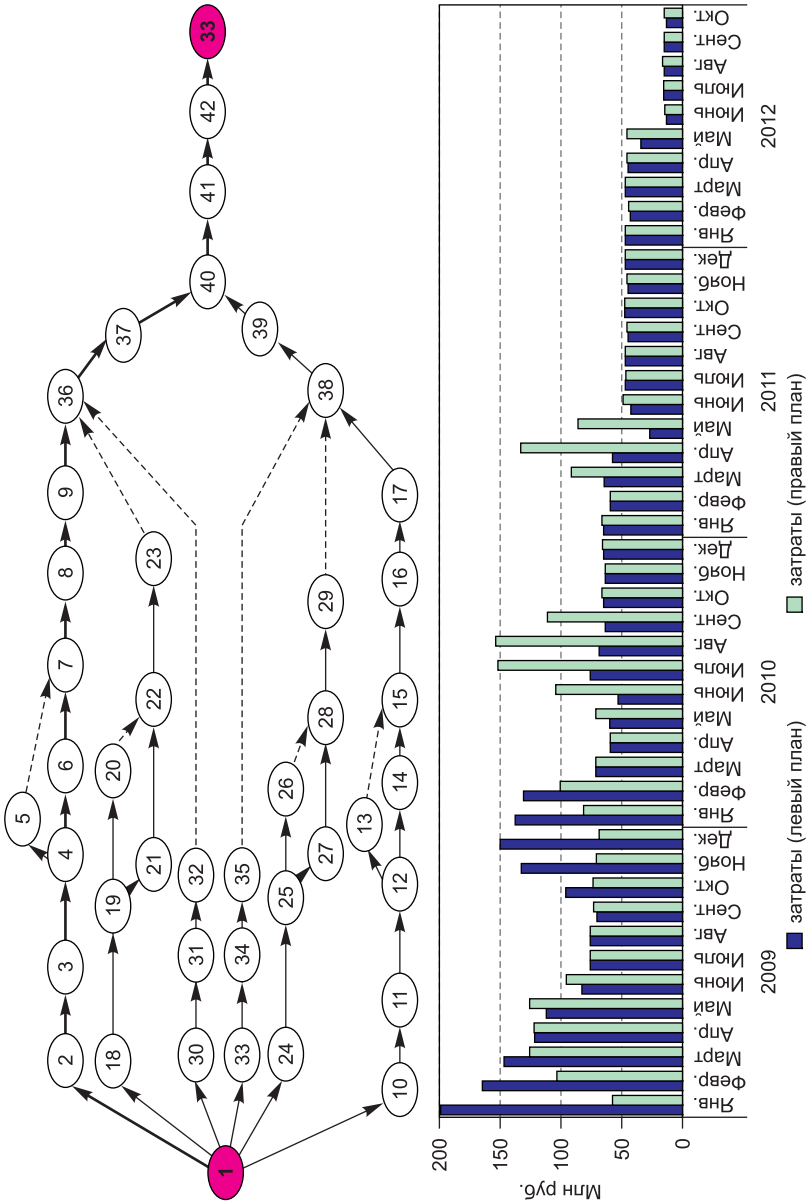


Рис. 5. Сетевой график сооружения вантового моста

Таблица 4

**Недисконтированные капитальные затраты на производство  
строительно-монтажных работ по проекту «вантовый мост»**

Месяц	Затраты, млн руб.							
	2009		2010		2011		2012	
	Левый план	Правый план	Левый план	Правый план	Левый план	Правый план	Левый план	Правый план
Январь	198,79	57,03	137,96	79,66	65,08	65,14	46,63	46,63
Февраль	163,94	103,47	130,23	99,59	58,73	58,73	43,62	43,62
Март	146,66	126,38	71,32	71,32	65,02	90,99	46,63	46,63
Апрель	121,57	122,31	59,27	59,27	58,02	132,80	45,13	45,13
Май	111,76	126,38	59,19	70,14	26,40	84,90	33,93	45,21
Июнь	82,64	94,98	52,01	104,18	42,28	48,69	13,85	13,85
Июль	75,22	75,22	74,94	151,07	46,63	46,63	14,39	14,39
Август	75,04	75,22	69,06	154,58	46,63	46,63	15,28	15,28
Сентябрь	71,35	71,59	63,04	110,62	45,13	45,13	14,78	14,78
Октябрь	96,04	73,49	65,15	65,15	46,63	46,63	13,65	13,65
Ноябрь	132,00	70,10	63,04	63,04	45,13	45,13	–	–
Декабрь	149,41	67,86	65,15	65,15	46,63	46,63	–	–

Продисконтируем по ставке  $r = (12/12)\%$  капитальные затраты, соответствующие полученным точкам, нормируем их к максимальному уровню затрат и вычтем полученные значения из единицы. Результаты представим в табл. 5.

Таблица 5

**Значения трапециевидной функции принадлежности проекта «вантовый мост»**

Показатель	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
Инвестиции, млн руб.	3334,62	2648,33	2517,49	2000,77
Нормированные инвестиции ( $N$ )	1,00	0,79	0,75	0,60
$1 - N$	0,00	0,21	0,25	0,40

Однако при сдвиге работ проекта от левого плана к правому сокращается резерв времени работ. Это ведет к тому, что внеплановая задержка в выполнении определенной работы может привести к выходу «некритической» работы (цепочки работ) на критический путь, а в худшем случае – повлечь за собой увеличение длительности критического пути. Риск возникновения подобной ситуации достигает максимума при правом плане, когда все «некритические» работы лишены резервов времени.

Иначе говоря, уменьшая в процессе формирования правого календарного плана объем приведенных капитальных затрат, мы увеличиваем риск срыва сроков реализации проекта, и наоборот, уменьшая риск в процессе формирования левого календарного плана, увеличиваем приведенные капитальные затраты. Возникает классическая двукритериальная задача выбора – в данном случае выбора эффективного плана сооружения вантового моста, когда множество точек на гипотетической кривой  $L - L$  есть отображение в пространство критериев «приведенные затраты – риск» множества Парето-оптимальных, т.е. несравнимых между собой, календарных планов  $x$ .

Основываясь на том, что вариантом расположения работ во времени с наименьшим значением риска является левый план, примем его за точку отсчета степени рискованности проекта. Тогда правый план будет предельно (на 100%) рискованным. Таким образом, становится возможным построение линии риска. Значения трапециевидного числа функции риска будут соответственно  $\beta$  (0,21, 0,25, 1,1). Для наглядности наложим ее на функцию принадлежности проекта (рис. 6).

Экспертным путем определим допустимую степень риска исходя из формулировки лингвистической переменной  $A$  «возможно допустимый уровень риска срыва сроков выполнения проекта», принимающей значения:

- $A_1$  – нечеткое подмножество состояний «предельный риск»;
- $A_2$  – нечеткое подмножество состояний «высокий риск»;
- $A_3$  – нечеткое подмножество состояний «средний риск»;
- $A_4$  – нечеткое подмножество состояний «низкий риск»;
- $A_5$  – нечеткое подмножество состояний «незначительный риск».



Рис. 6. Анализ «приведенные капитальные затраты – риск»

Полученному в результате опроса утверждению эксперта «предполагаю, что допустимым в проекте является средний уровень риска» сопоставляется нечеткое подмножество состояний  $A_3$ . Затем интерпретируем это значение лингвистической переменной в нечетко-множественное описание посредством классической пенташкалы [9] как трапециевидное число  $\beta$  (0,35; 0,45; 0,55; 0,65).

Отталкиваясь от полученного числа  $\beta$ , можно утверждать, что «скорее всего показатель примет значение...» применительно к участку [0,45; 0,55] оси абсцисс. Для «склонов» [0,35; 0,45] и [0,55; 0,65] действует утверждение «возможно, показатель примет значение...».

Для анализа инвестиционной составляющей проекта с учетом обозначенной нечеткой зоны допустимого риска построим область возможных исходов реализации проекта на плоскости «приведенные затраты – риск» [1]. Однако оси такой плоскости являются детерминированными. Поэтому для отображения на них нечеткой информации «разное» получаемые значения (рис. 7). Исходя из того, что цель инвестора – это минимизация затрат и рисков, выделим на полученной области подмножество неденонмируемых альтернативных решений, т.е. Парето-границу (на рис. 7 выделена сплошной линией).

Далее для определения на кривой рекомендуемых значений при заданном уровне риска применим частный метод линейной свертки с двумя критериями [10]:

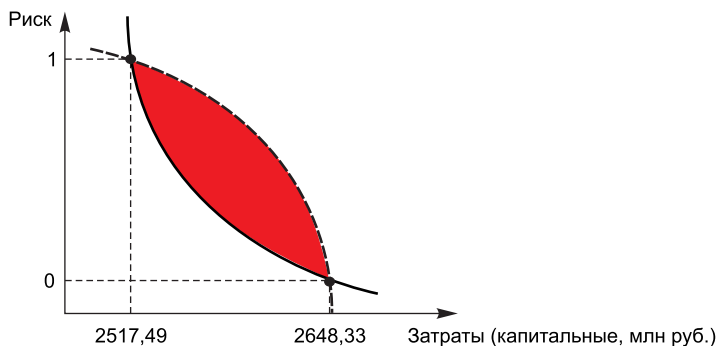


Рис. 7. Область возможных исходов реализации проекта «вантовый мост» на плоскости «приведенные затраты – риск»

$$w_1 y_1 + w_2 y_2 = c. \quad (2)$$

В качестве коэффициента  $w_1$  уравнения (2) последовательно используем четыре опорные точки  $(a_1, \dots, a_4)$  трапецевидного числа  $\beta$ . Основываясь на том, что затраты имеют обратную зависимость от степени риска, определим второй коэффициент уравнения как  $w_2 = (1 - w_1)$ . Так получаем четыре прямые  $L(c)$ .

Решением задачи будет такое значение переменных  $c$ , при котором соответствующие им прямые соприкоснутся с границей области графика, т.е. пересекутся с кривой Парето-оптимальных решений. Таким образом, мы получаем четыре точки соприкосновения  $D$  (рис. 8). Следует отметить, что полученные точки являются нечеткими, так как базируются на нечеткой информации. Однако для наглядности примера отображаем их в четком виде.

Следующим логическим шагом является корректировка сетевого графика проекта на основе выбора конкретного варианта инвестором с опорой на уже имеющиеся диаграммы. Предположим, инвестор произвел анализ представленных ему диаграмм и, сопоставив результаты со своей системой ценностей, определил уровень риска «приблизительно 50%» как наиболее рациональный выбор в контексте параметров задачи. Отообразим данный выбор аналогично рис. 7 с уже обозначенными рекомендациями экспертов (рис. 9). Видно, что проекция

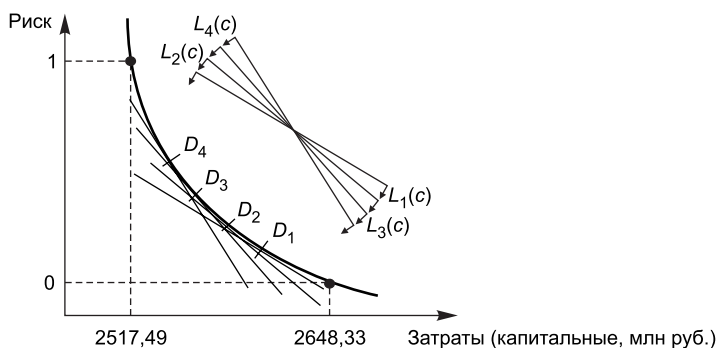


Рис. 8. Геометрическая интерпретация нечетко-множественной свертки

выбора инвестора пересекает область возможных исходов реализации проекта примерно при среднем уровне затрат в наиболее вероятном сценарии (хорда области). Пересечения проекции с размытыми границами в пессимистическом и оптимистическом сценариях образуют возможные колебания объемов инвестиций.

Для того чтобы понять, какие именно работы необходимо смещать и на какое время, разобьем их все на цепочки (последовательности) с одинаковым резервом времени (табл. 6). Как мы уже предположили, коэффициент затрат  $w_2$  в уравнении (2) имеет обратную

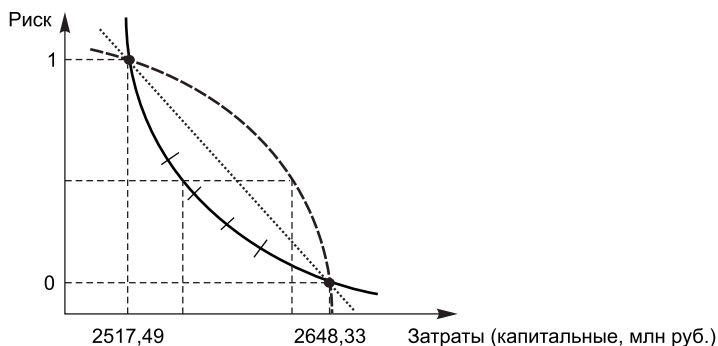


Рис. 9. Проекция выбора инвестора на область возможных исходов реализации проекта



Таблица 6

## Последовательности работ по проекту и анализ резервов времени, дней

Цепочка работ	Общая длительность	Резерв времени	Расчетный резерв времени
1-2-3-4-6-7-8-9-36-37-40-41-42-43	1389	0	0
4-5	43	119	60
1-18-19-20 = 22-23	843	43	22
19-21-22	79	259	130
1-30-31-32	77	809	405
1-33-34-35	77	809	405
1-24-25-26 = 28-29	858	28	14
25-27-28	82	241	121
1-10-11-12-14-15-16-17-38-39-40	1225	15	8
12-13	43	138	69

Примечание: « $\Rightarrow$ » обозначает фиктивные работы.

зависимость  $(1 - w_1)$  от уровня риска. Поэтому правомерно также предположить, что при уровне риска, примерно равном 0,5, необходимый объем инвестиций будет достигнут приблизительно на половине отрезка между минимальным и максимальным значениями, т.е.  $S_h = (2517,49 + 2648,33) / 2$ . Далее, основываясь на том, что максимальное значение данного отрезка образуется левым планом (резерв времени всех работ не реализован), а минимальное – соответственно правым (резервы времени отсутствуют), можно определить, что при уровне затрат  $S_h$  резерв времени работ будет реализован приблизительно наполовину (см. табл. 6). Иными словами, для достижения необходимого результата следует увеличить время начала первой работы в цепочке на величину, равную половине ее резерва. Так инвестор может предельно уменьшить затраты, контролируя при этом уровень риска.

Представляется, что данный подход будет эффективен на стадиях структуризации инвестиционных намерений, предпроектного анализа и реализации проекта, т.е. когда на основе слабоструктурированных данных в отсутствие точной информации приходится принимать сложные инвестиционные решения, ошибка в которых может привести как к снижению ожидаемой прибыли, так и к убыточности проекта.

### Литература

1. **Кибалов Е.Б., Горяченко В.И., Хугорецкий А.Б.** Системный анализ ожидаемой эффективности крупномасштабных проектов. – Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2008. – 164 с.
2. **Кибалов Е.Б., Кин А.А.** Проблема учета фактора неопределенности при оценке ожидаемой эффективности крупномасштабных инвестиционных проектов // Регион: экономика и социология. – 2007. – № 3. – С. 67–91.
3. **Заде Л.А.** Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
4. **Орловский С.А.** Проблема принятия решений при нечеткой исходной информации. – М.: Наука, 1981. – 208 с.
5. **Гранберг А.Г., Суспицин С.А.** Введение в системное моделирование народного хозяйства. – Новосибирск: Наука, 1988. – 304 с.
6. **Беспалов И.А., Шипилина А.И.** Применение теории нечетких множеств при оценке сложных инвестиционных проектов // Регион: экономика и социология. – 2010. – № 3. – С. 176–189.
7. **Недосекин А.О.** Нечетко-множественный анализ риска фондовых инвестиций. – СПб., 2002. – 181 с.
8. **Недосекин А.О.** Фондовый менеджмент в расплывчатых условиях. – СПб., 2003. – 201 с.
9. **Недосекин А.О.** Методологические основы моделирования финансовой деятельности с использованием нечетко-множественных описаний. – СПб., 2003. – 280 с.
10. **Бахтин А.Е., Кибалов Е.Б.** Оценка эффективности инвестиционных проектов: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2011. – Ч. 1. – 80 с.

*Рукопись статьи поступила в редколлегию 16.02.2012 г.*

© Беспалов И.А., 2012