

ОЦЕНКА ОЖИДАЕМОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА В СИТУАЦИИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Р.В. Беккер¹, Е.Б. Кибалов²

¹ Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск,

² Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН,
г. Новосибирск

Анализируется проблема оценки ожидаемой эффективности сооружения мостового перехода в мегаполисе, расположенном на разных берегах крупной равнинной реки. Предлагается подход к решению проблемы на основе применения экономико-математических методов и экспертных технологий, позволяющих определенным образом формализовать и раскрывать различные виды неопределенности, что способствует принятию обоснованных инвестиционных решений. Для решения задач, возникающих в рамках названной проблемы, применяется критерий теории принятия сложных решений Кофмана, аппарат размытых множеств и методика формирования информационной базы расчетов на основе экспертных оценок Ван Вестендорпа. В экспериментальных расчетах, проведенных с помощью разработанной системы моделей на примере предлагаемого к строительству четвертого автодорожного моста через р. Обь в г. Новосибирске, продемонстрированы последствия принятия проектировщиками, инвесторами, строительными подрядчиками и будущими эксплуатантами моста решений, учитывающих не только их коммерческие интересы, но и интересы жителей города – будущих пользователей услугами нового искусственного сооружения.

Ключевые слова: ожидаемая эффективность, инвестиционный проект, фактор неопределенности, автодорожный мост, плата за проезд, критерий Кофмана, размытые множества, методика Ван Вестендорпа.

Общим недостатком наиболее часто используемых в традиционных методиках показателей эффективности инвестиционных проектов является предположение о детерминированности входных данных, что приводит к получению смещенных оценок показателей эффективности и риска. Указанное предположение представляется неоправданным упрощением реальности, так как любой инвестиционный проект зависит от множества разнообразных факторов, неоднозначно влияющих на степень его эффективности и рискованности. С одной стороны, принятие *обоснованного* риска открывает возможность получения различного рода выгод, но, с другой, если риск должным образом *не обосван*, появляется возможность потери различного рода ресурсов, недополучения ожидаемого дохода или появления дополнительных расходов в ходе реализации проекта [1].

С учетом сказанного возникает проблема адаптации традиционных методик, регламентирующих оценку экономической эффективности инвестиционных проектов, к ситуациям оценки в условиях объективно существующей неопределенности. Ниже предлагается подход к решению проблемы на основе применения экономико-математических методов и экспертных технологий, позволяющих определенным образом формализовать и раскрывать различные виды неопределенности, что способствует, на наш взгляд, принятию разумных инвестиционных решений.

Существуют различные подходы к учету фактора неопределенности при оценке инвестиционных проектов. Согласно классификации по Найту [2] в зависимости от того, какая информация о состоянии внешней среды доступна в момент принятия решения, различают:

- вероятностную (стохастическую) неопределенность;
- радикальную (интервальную) неопределенность;
- интервально-вероятностную неопределенность.

Понятие вероятностной неопределенности (стохастики) используется в расчетах эффективности, когда «степень возможности» актуализации рассматриваемых сценариев или параметров

инвестиционного проекта характеризуется их вероятностями или же, в случае непрерывно меняющихся параметров, – вероятностными распределениями. Использование терминов «случайность», «вероятность» при описании неопределенности, связанной с оценкой эффективности проектов, возможно, когда вероятности отдельных сценариев их реализации точно определены (заранее известны).

В условиях вероятностной неопределенности критерий ожидаемого эффекта, обеспечивающий рациональное экономическое поведение инвесторов, рассчитывается, как показано в [3], по формуле математического ожидания

$$\mathcal{E}_{\text{ож}} = \sum_k \mathcal{E}_k p_k, \quad (1)$$

где $\mathcal{E}_{\text{ож}}$ – ожидаемый интегральный эффект проекта; \mathcal{E}_k – интегральный эффект при k -м сценарии; p_k – вероятность актуализации этого сценария.

Использование математического ожидания эффекта в качестве критерия эффективности подвергается критике. Критика связана с тем, что рассчитанный по этой формуле критерий эффективности проекта плохо учитывает риск, генерируемый разбросом эффекта от его среднего значения. Это означает, что одинаковые по своей величине, но противоположные по знаку отклонения при использовании данного способа расчета взаимно погашаются, в то время как для экономического субъекта они могут иметь разную значимость.

Ситуации, когда неопределенность в отношении определения затрат и результатов проекта носит вероятностный характер, а вероятности исчисляются на основе объективной статистики, встречаются в экономике довольно редко. Чаще применяются так называемые субъективные вероятности, под которыми принято понимать вероятности, установленные путем экспертной оценки. Опираясь на объективные или субъективные вероятности отдельных сценариев, экономические субъекты могут принимать решения относительно реализуемых в этих условиях проектов. Соответствующее правило названо критерием Байеса и сформулировано следующим образом: если распределение вероятностей возможных состояний задано дискретно в виде $p = [p_1, \dots, p_k, \dots, p_n]$, то в соответствии с данным критерием для вероятности p любое решение (например, j) предпочтительнее другого (например, k) в том случае, если

$$\sum_{i=1}^m p_i a_{ij} > \sum_{i=1}^m p_i a_{ik}, \quad (2)$$

где a_{ij} – прибыль экономического субъекта, связанная с i -м «состоянием природы» и с j -м решением этого субъекта ($i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n$); p_i – вероятность (объективная или субъективная) i -го «состояния природы».

Как было отмечено ранее, при установлении субъективных вероятностей обычно используются экспертные оценки. Однако, как свидетельствуют многочисленные психологические исследования, люди плохо справляются с оценкой вероятностей и, как правило, недооценивают или переоценивают последствия маловероятных сценариев [3].

Радикальная неопределенность возникает в том случае, когда какая бы то ни было информация о вероятностях отдельных сценариев отсутствует (или известно, что реализация любого из этих сценариев вообще не является случайным событием и не может быть охарактеризована в терминах вероятностей). В условиях радикальной неопределенности не существует ни исходной статистической базы для экспертных оценок, ни достаточного числа экспертов, которые могли бы высказать согласованное мнение о вероятностях актуализации отдельных сценариев конкретного инвестиционного проекта. Такая ситуация, характеризующаяся отсутствием статистической устойчивости, вызвана, как правило, уникальностью крупных и сложных инвестиционных проектов.

В условиях радикальной неопределенности «степень возможности актуализации» неопределенных параметров устроена по следующему принципу: все значения параметра в соответствующем интервале считаются возможными («степень возможности актуализации» равна единице), а значения, находящиеся вне этого интервала, – невозможными («степень возможности актуализации» равна нулю). На этом основании данный вид неопределенности называется интервальной. Обычно же об интервальной неопределенности говорят, если об эффекте проекта известно только некоторое (например, дискретное) множество его возможных значений, но не распределение вероятностей на этом множестве.

Наиболее общая расчетная формула для определения ожидаемого интегрального эффекта инвестиционного проекта в условиях радикальной (интервальной) неопределенности предложена Л. Гурвицем. Она известна под названием «критерий оптимизма-пессимизма». Согласно критерию Гурвица для каждого решения необходимо определить линейную комбинацию минимального (min) и максимального (max) выигрыша и считать наиболее предпочтительным тот проект, для которого эта величина окажется наибольшей:

$$v_H = \max_i [\alpha \max_j a_{ij} + (1 - \alpha) \min_j a_{ij}], \quad (3)$$

где $\alpha \in [0, 1]$ – коэффициент оптимизма-пессимизма, который принимает значение в зависимости от отношения лица, принимающего решение к риску, от его склонности к оптимизму или к пессимизму.

Помимо рассмотренных выше крайних случаев на практике могут встретиться и промежуточные (смешанные) виды неопределенности, где сочетаются оба рассмотренных вида неопределенности. Для количественной оценки эффективности инвестиционных проектов в условиях интервально-вероятностной неопределенности может быть предложена следующая расчетная формула (см. [3]), обеспечивающая получение экономически корректных результатов. При наличии каких-либо ограничений на вероятности отдельных сценариев или отдельных значений эффекта (p_i) ожидаемый эффект может быть рассчитан по следующей формуле, которая является своеобразным обобщением формулы Гурвица:

$$\mathcal{E}_{\text{ож}} = \lambda \cdot \max_{p_1, p_2, \dots} \left(\sum_i \mathcal{E}_i p_i \right) + (1 - \lambda) \cdot \min_{p_1, p_2, \dots} \left(\sum_i \mathcal{E}_i p_i \right), \quad (4)$$

где максимум и минимум рассчитываются по всем допустимым (удовлетворяющим всем исходным ограничениям) сочетаниям вероятностей отдельных сценариев.

Анализ представленных выше методов количественной оценки эффективности инвестиционных проектов в условиях неопределенности позволяет сделать вывод, что существующие методы ограниченно способны формально описать и учесть всё возможное разнообразие видов неопределенности. Подавляющее большинство методов формализует неопределенности лишь в качестве распределений вероятностей, построенных на основе субъективных экспертных оценок, что в большинстве реальных ситуаций представляется неоправданной идеализацией. Таким образом, в рассмотренных методах неопределенность, независимо от её природы, отождествляется со случайностью, и это не позволяет учесть всё возможное разнообразие видов неопределенностей, воздействующих на инвестиционный проект.

Использование вероятностного подхода в инвестиционном анализе затрудняется по определенным причинам. К одному из существенных обстоятельств, не позволяющих определить вероятность исхода каждого из предлагаемых вариантов действий путем изучения большого числа случаев, относится уникальность крупномасштабных инвестиционных проектов. Отмеченный факт обуславливает отсутствие возможности свести воедино аналогичные случаи (если таковые вообще существуют) в количестве, достаточном для выработки состоятельного умозаключения по поводу действительной вероятности определенного исхода в заданной ситуации [2].

Кроме того, обычные количественные методы малоприменимы для анализа сложных систем, в которых участвует человек, т. е. систем социотехнических. Суть этого принципа можно выразить примерно так: чем сложнее система, тем менее мы способны дать точные и в то же время имеющие практическое значение суждения о ее поведении [4]. Для получения существенных выводов о поведении сложной системы необходимо отказаться от высоких стандартов точности, характерных для простых систем, и привлекать для ее анализа приближенные по своей природе подходы. Одним из таких подходов является теория нечетких множеств, предложенная Л. Заде [4].

Аппарат нечетких множеств широко используется при математическом описании сложных систем в условиях неопределенности, позволяя формализовать знания, представленные в качественной форме, не требуя выполнения предпосылок применимости теории вероятностей. Категория нечеткости и связанные с ней методы важны и по той причине, что с их появлением стало возможно подвергать количественной оценке те явления, которые раньше требовали использования весьма грубых моделей [5, 6].

В настоящей статье мы используем комбинацию методов, опирающихся на теории принятия решений и нечетких множеств. В первом случае неопределенность трактуется нами как риск по Найту [2], во втором случае как приближительность (расплывчатость) значений независимых и зависимых переменных инвестиционного проекта.

Использование аппарата нечетких множеств предполагает формализацию исходных параметров и целевых показателей эффективности инвестиционного проекта в виде вектора интервальных значений (нечеткого интервала), попадание в каждый интервал которого характеризуется некоторой степенью неопределенности. Данный подход позволяет формализовать и использовать всю доступную неоднородную информацию (детерминированную, интервальную, статистическую, лингвистическую), что повышает достоверность и качество принимаемых стратегических решений относительно конкретного инвестиционного проекта [1]. Далее на конкретном примере показано, как оценка риска неэффективности инвестиционного проекта строительства крупного автодорожного моста через р. Обь (далее – Мост) нами проведена с использованием критериев теории принятия решений и аппарата нечетких множеств.

В качестве критерия оценки эффективности инвестиционного проекта Моста принят стандартный (целевой) для существующих методик показатель чистого дисконтированного дохода (NPV), рассчитываемый по следующей формуле и представляющий собой разницу между суммой денежных поступлений и суммой всех затрат, порождаемых реализацией проекта, дисконтированных (приведенных) к началу проекта:

$$NPV = -\sum_{t=1}^n \frac{I_t}{(1+r)^t} + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t}, \quad (5)$$

где I_t – инвестиционные затраты в период t ; CF_t – поступления денежных средств в период t ; r – ставка дисконтирования; n – количество временных периодов t .

В силу того, что точный объем необходимых инвестиций, эксплуатационных затрат, а также доход от платы за проезд по Мосту точно неизвестны (имеет место фактор неопределенности в определении прогнозных значений данных показателей), проведем оценку риска рассматриваемого инвестиционного проекта в терминах размытых множеств. При формализации проблемы оценки будем следовать Недосекину [7], а в части прогнозных значений экономических показателей опираться на первоисточники¹.

В случае интересующего нас Моста значение NPV инвестиционного проекта будет являться нечетким числом ($NPV = (NPV_{\min}, NPV_{\max})$), так как нечеткий вид (в соответствии с первоисточниками) имеют показатели в правой части формулы (5):

– значение общего объема затрат инвестора на строительство и содержание объекта в течение жизненного цикла проекта по предположению колеблется между 40 и 50 млрд руб.

– ожидаемый доход от платы за проезд за весь срок эксплуатации объекта в зависимости от трафика может составить 47,9 млрд руб. при загрузке Моста, равной 86 тыс. автомобилям в сутки, и 14,4 млрд руб., если загрузка составляет 30 % от указанной.

$$NPV = - (40; 50) + (14,4; 47,9) \Rightarrow$$

$$NPV_{\min} = -50 + 14,4 = -35,6 \text{ млрд руб.};$$

$$NPV_{\max} = -40 + 47,9 = 7,9 \text{ млрд руб.}$$

В качестве граничного условия эффективности рассматриваемого проекта (G) принято значение $G = 0$. Это означает, что проект будет считаться неэффективным, если суммарное значение дохода от сбора платы по Мосту за весь жизненный цикл проекта не покрывает вложенных инвестором в данный проект денежных средств.

Для оценки риска неэффективности проекта строительства Моста, воспользуемся формулой из [7], позволяющей найти степень риска (ϕ) в случае интервально заданного значения NPV и точно заданного граничного условия эффективности (G):

¹ Далее для количественных (детеминированных) оценок параметров проекта используется информация проектировщиков Моста, заказчиков-инвесторов и предполагаемых концессионеров-эксплуатантов будущего Моста [8–11].

$$\begin{cases} 0, & \text{при } G < NPV_1; \\ \frac{G - NPV_1}{NPV_2 - NPV_1}, & \text{при } NPV_1 \leq G \leq NPV_2; \\ 1, & \text{при } G > NPV_2. \end{cases} \quad (6)$$

Подставив в формулу (6) значения показателей рассматриваемого проекта, получим

$$\varphi = \frac{0 - (-35,6)}{7,9 - (-35,6)} = \frac{35,6}{43,5} = 0,818.$$

Таким образом, риск неэффективности данного проекта составляет 0,818.

Как видно из формулы (6), значение φ находится в диапазоне $[0; 1]$, где 0 означает, что риск неэффективности проекта отсутствует, а степень риска, равная единице означает, что инвестиции окажутся неэффективными и, следовательно, риск убыточности проекта строительства Моста 0,818, выявленный нашим расчетом, очень высок.

Углубим наш анализ, имея ввиду, что значение граничного параметра G , как следует из вышесказанного, критически зависит от суммарного значения дохода от сбора платы по Мосту за весь жизненный цикл проекта. В проектной документации Моста [10] приведена интенсивность движения транспорта по проектируемому объекту при различных (прогнозируемых) значениях тарифных ставок за проезд. Опираясь на эти данные, определим наиболее предпочтительный для инвестора тариф за проезд по Мосту в определенных условиях.

Для сравнения представленных в проектной документации тарифов и выбора более предпочтительного из них воспользуемся критерием Кофмана [12]. Наиболее предпочтительная стратегия из числа допустимых по данному критерию определяется исходя из следующего условия

$$s_i > s_j,$$

если

$$\alpha q_i^- + \beta q_i^0 + \gamma q_i^+ > \alpha q_j^- + \beta q_j^0 + \gamma q_j^+, \quad (7)$$

где s_i и s_j – в нашем случае тарифные стратегии (далее – Тарифы) при их попарном сравнении;

$$\beta = 1 - \alpha - \gamma; \quad (8)$$

$$q_k^- = M_r \{a_{kr} \mid a_{kr} < p_1\}; \quad (9)$$

$$q_k^0 = M_r \{a_{kr} \mid p_1 \leq a_{kr} \leq p_2\}; \quad (10)$$

$$q_k^+ = M_r \{a_{kr} \mid a_{kr} > p_2\}, \quad (11)$$

где M – средний выигрыш, полученный на подмножестве сценариев q_k^- , определяемый по следующей формуле при наличии нескольких значений a_{kr} , удовлетворяющих условию $a_{kr} < p_1$:

$$q_k^- = \sum_{r \in q_k^-} a_{kr} \cdot g_r, \quad (12)$$

где g_r – возможность актуализации сценария.

Средние значения выигрыша, полученного на подмножестве сценариев q_k^0 и q_k^+ , определяются аналогично.

В приведенном критерии результат меньший, чем p_1 , объявляется «неудачей», а больший, чем p_2 , оценивается как «успех». Возможность актуализации неудачи оценивается как $\alpha \cdot 100\%$, а успеха – $\gamma \cdot 100\%$. Все параметры субъективные.

Как указано в проектной документации, тарифы за проезд по Мосту будут дифференцированы по категориям транспорта.

Как видно из табл. 1, с целью определения тарифных ставок для 1, 2, 3 и 4 категорий транспортных средств (ТС) установлены повышающие коэффициенты, на которые умножается базовая ставка: для 1 категории ТС повышающий коэффициент равен 1, для 2 категории – 1,5, для 3 категории – 2 и для 4 категории – 3. Поэтому далее будет определяться наиболее предпочтительная для инвестора базовая тарифная ставка.

Таблица 1

Тарифный план для различных категорий транспортных средств

Тарифная группа	Категория транспорта	Тариф, руб./проезд		
		50	70	100
1	Легковые автомобили, мотоциклы	50	70	100
2	Грузовые ТС от 2 до 8 т	75	105	150
3	Грузовые ТС от 8 до 14 т	100	140	200
4	Грузовые ТС, автопоезда более 14 т	150	210	300

Представленная в проекте Моста суммарная интенсивность движения по нему всех категорий транспорта на расчётный срок (20 лет) – период n (см. (5)) за вычетом срока строительства, выглядит следующим образом (табл. 2).

Таблица 2

Среднегодовая суточная интенсивность движения

Тариф (базовый)	Интенсивность движения, авт./сут
50	88 480
70	80 395
100	68 735

Однако трафик при платном использовании Моста может оказаться существенно ниже установленного в проектной документации. Учет такой возможности требует рассмотрения трех возможных сценариев – пессимистического, базового и оптимистического. В базовом варианте интенсивность движения по Мосту будет, по предположению, соответствовать значениям, приведенным в проектной документации. В пессимистическом сценарии предполагается, что в случае установления базового тарифа в размере 50 руб. трафик может составить 60,4 % от установленного в проекте Моста, при тарифе 70 руб. – 37,1 % от установленного в базовом сценарии, при 100 руб. – 30,7 % от базового сценария².

В оптимистическом сценарии установлено 20%-ное увеличение значений интенсивности движения при каждом из представленных тарифов (см. табл. 2). По итогам социологического опроса, проведенного проектировщиками Моста, было установлено, что около 20 % респондентов считают платную эксплуатацию вообще плохой идеей и, если плата будет установлена, они не станут ездить по новому Мосту вообще. Тем не менее оптимистический сценарий развития соответствует предположению, что после возведения Моста данная категория автомобилистов будет пользоваться новым искусственным сооружением, несмотря на высказанное в ходе социологического опроса негативное мнение.

С учетом различных сценариев интенсивность движения всех категорий ТС по проектируемому Мосту в зависимости от установленного тарифа будет выглядеть следующим образом (табл. 3).

Таблица 3

Интенсивность движения транспорта по Мосту при различных сценариях

Стратегии (тариф, руб.)		Сценарии (интенсивность, авт./сут)		
		r_1	r_2	r_3
		Пессимистический	Базовый	Оптимистический
s_1	50	53 442	88 480	106 176
s_2	70	29 827	80 395	96 474
s_3	100	21 102	68 735	82 482

Установим степень возможности актуализации каждого из представленных сценариев с использованием аппарата нечётких множеств, а именно с использованием нечёткой лингвистической переменной. Степень возможности актуализации пессимистического сценария в терминах

² Указанные значения получены, исходя из анализа результатов социологического опроса, проводимого проектировщиками Моста [10].

размытых множеств оценивается как высокая, базового сценария – средняя, а оптимистического – низкая.

Введем лингвистическую переменную «возможность актуализации сценария» с подмножествами «низкая», «средняя», «высокая». Также введем носитель x – отрезок вещественной оси $[0; 1]$, на котором определим набор функций принадлежности (μ) по всем указанным подмножествам лингвистической переменной «возможность актуализации сценария» (рис. 1). Представленные на рис. 1 функции принадлежности для каждого подмножества являются трапециевидными. Верхнему основанию трапеции соответствует 100%-ная уверенность в принадлежности уровня возможности актуализации сценария выбранному нечеткому подмножеству (проекция верхнего основания трапеции на область определения носителя образует интервал достоверности). По мере удаления от интервала достоверности уверенность в классификации снижается до нуля, что отражают боковые ребра трапеции. Проекция этих ребер на область определения носителя образует два интервала неуверенности. Все остальные интервалы в области определения носителя формируют объединенный интервал недостоверности, отражающий 100%-ную уверенность, что эти уровни не принадлежат данному нечеткому подмножеству.

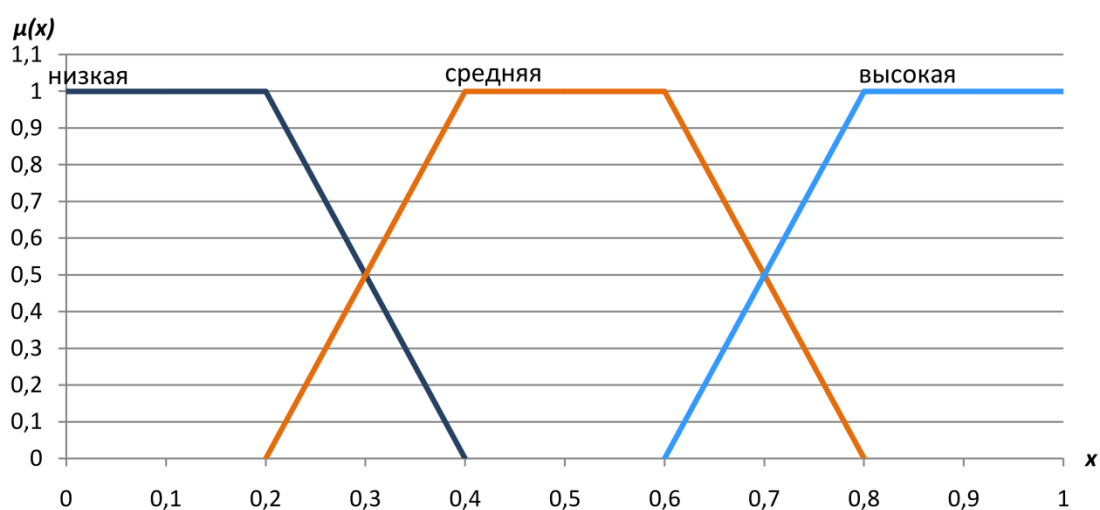


Рис. 1. Функции принадлежности лингвистической переменной «возможность актуализации сценария»

С целью применения обозначенных выше подмножеств в критерии Кофмана проведем так называемую свёртку каждого из подмножеств, позволяющую перейти от векторной формы их представления к одномерной.

Как показано в [4], по следующей формуле найдем значения подмножеств «низкая», «средняя» и «высокая» (табл. 4):

$$A = \sum_{i=1}^n \mu_i \cdot x_i, \quad (13)$$

где A – подмножество лингвистической переменной; μ_i , $i = 1, \dots, n$ – степень принадлежности элемента x_i подмножеству A ; x_i – носитель нечёткого множества.

$$\text{низкая} = 0 \cdot 1 + 0,1 \cdot 1 + 0,2 \cdot 1 + 0,3 \cdot 0,5 + 0,4 \cdot 0 = 0,45;$$

$$\text{средняя} = 0,2 \cdot 0 + 0,3 \cdot 0,5 + 0,4 \cdot 1 + 0,5 \cdot 1 + 0,6 \cdot 1 + 0,7 \cdot 0,5 + 0,8 \cdot 0 = 2;$$

$$\text{высокая} = 0,6 \cdot 0 + 0,7 \cdot 0,5 + 0,8 \cdot 1 + 0,9 \cdot 1 + 1 \cdot 1 = 3,05.$$

Критерий Кофмана предполагает использование нормированных значений возможности актуализации сценариев, поэтому для дальнейших вычислений пронормируем полученные значения подмножеств по формуле

$$W_i = \frac{R_i}{\sum_{i=1}^n R_i}. \quad (14)$$

Таблица 4
Нормированные значения подмножеств лингвистической переменной

Подмножества	Расчётные значения (R_i)	Нормированные значения (W_i)
Низкая	0,45	0,082
Средняя	2	0,364
Высокая	3,05	0,554
Σ	5,5	1

Далее определялся доход инвестора за 20 лет эксплуатации моста при указанной выше интенсивности движения в разрезе трех сценариев развития транспортной ситуации.

Согласно расчетам проектировщиков при трафике в 86 047 автомобилей в сутки годовой доход от сбора платы прогнозируется в объеме 4292 млн руб. при базовой тарифной ставке, равной 100 руб. Поделив указанное значение годового дохода (4292 млн руб.) на 86 047 проезжающих по мосту автомобилей в сутки, получим прогнозируемый годовой доход, который в среднем планируется получать с одного проезжающего по Мосту автомобиля в сутки. Он оказывается равным 0,05 млн руб. при тарифе в 100 руб. Соответственно, при тарифе 70 руб. доход с одного проезжающего по Мосту автомобиля составит 0,035 млн руб. при тарифе 50 руб. – 0,025 млн руб.

Умножив полученные значения на интенсивность движения и на количество лет (20) эксплуатации Моста (период n за вычетом продолжительности строительства), получим прогнозируемый доход инвестора при различных базовых тарифных ставках за проезд и различных сценариях (табл. 5).

В пессимистическом сценарии расчёт дохода выглядит следующим образом:

– при тарифе 50 руб.: $0,025 \cdot 53\,442 \cdot 20 = 26\,721$ млн руб.;

– при тарифе 70 руб.: $0,035 \cdot 29\,827 \cdot 20 = 20\,879$ млн руб.;

– при тарифе 100 руб.: $0,05 \cdot 21\,102 \cdot 20 = 21\,102$ млн руб.

Для базового и оптимистического сценария расчет дохода от сбора платы за проезд выполняется аналогичным образом.

Таблица 5
Доход инвестора от платы за проезд при различных сценариях

Стратегии (тариф, руб.)		Годовой доход с 1 авт./сут, млн руб.	Сценарии (интенсивность, авт./сут)		
			r_1	r_2	r_3
			Пессимистический	Базовый	Оптимистический
s_1	50	0,025	26 721	44 240	53 088
s_2	70	0,035	20 879	56 277	67 532
s_3	100	0,05	21 102	68 735	82 482

На основе данных табл. 5 определим с использованием критерия Кофмана наиболее предпочтительный для инвестора в заданных условиях тариф.

Исходя из информации проектировщиков Моста, затраты инвестора на строительство и содержание в течение 20 лет мостового перехода составят 45 399 млн руб. Данное значение будет взято в качестве граничного значения r_1 , доход ниже которого будет считаться «неудачей». Расчёт среднего выигрыша для каждой стратегии будет определен исходя из условия, что возможность актуализации неудачи α оценивается средней (см. табл. 4).

В качестве r_2 будет взято значение, отражающее 20%-ную прибыль вложенных инвестором средств, то есть

$$r_2 = 45\,399 \cdot 1,2 = 54\,478,8 \approx 54\,479 \text{ млн руб.}$$

Возможность актуализации успеха γ определена в терминах размытых множеств как низкая.

Определим значения q_k^- , q_k^0 и q_k^+ для каждой стратегии (тарифа) по формуле (12). В дальнейших расчётах значения возможности актуализации сценариев из табл. 4 будут пронормированы по формуле (14) с целью получения в конечном итоге адекватных реальности значений суммарного дохода инвестора за весь срок эксплуатации Моста.

Для тарифа 50 рублей:

$$q_{50}^- = 26\,721 \cdot 0,6 + 44\,240 \cdot 0,4 = 33\,728,6 \text{ млн руб.}$$

$$q_{50}^0 = 53\,088 \text{ млн руб.}$$

Значения, удовлетворяющие условию (11), в данной стратегии отсутствуют.

Для тарифа 70 рублей:

$$q_{70}^- = 20\,879 \text{ млн руб.}$$

Для данной стратегии отсутствуют значения, находящиеся в интервале $p_1 \leq a_{kr} \leq p_2$.

$$q_{70}^+ = 56\,277 \cdot 0,82 + 67\,532 \cdot 0,18 = 58\,302,9 \text{ млн руб.}$$

Для тарифа 100 рублей:

$$q_{100}^- = 21\,102 \text{ млн руб.}$$

Для данной стратегии также отсутствуют значения, удовлетворяющие условию (10).

$$q_{100}^+ = 68\,735 \cdot 0,82 + 82\,482 \cdot 0,18 = 71\,209,5 \text{ млн руб.}$$

Далее для каждой из представленных тарифных стратегий рассчитаем по формуле (7) среднее значение выигрыша с целью дальнейшего сравнения данных тарифов и выбора наиболее предпочтительного из них.

Как было упомянуто выше, степень возможности актуализации неудачи α оценивается как средняя, а возможность актуализации успеха γ оценивается как низкая. На основе данного заключения указанным факторам присваиваются значения 0,364 и 0,082 соответственно (см. табл. 4). Тогда по формуле (8) $\beta = 0,554$. Указанные значения α , β и γ будут в дальнейших расчетах также пронормированы по формуле (14).

$$\text{Для тарифа 50 руб.:} \quad s_{50} = 0,4 \cdot 33\,728,6 + 0,6 \cdot 53\,088 = 45\,344,2 \text{ млн руб.}$$

$$\text{Для тарифа 70 руб.:} \quad s_{70} = 0,82 \cdot 20\,879 + 0,18 \cdot 58\,302,9 = 27\,615,3 \text{ млн руб.}$$

$$\text{Для тарифа 100 руб.:} \quad s_{100} = 0,82 \cdot 21\,102 + 0,18 \cdot 71\,209,5 = 30\,121,4 \text{ млн руб.}$$

Таким образом, из представленных расчетов видно, что наиболее предпочтительным в заданных условиях будет базовый тариф в размере 50 руб. Тогда тарифная ставка для 1 категории ТС составит 50 руб., для 2 категории – 75 руб., для 3 и 4 категорий – 100 руб. и 150 руб. соответственно.

Полученное суммарное значение дохода инвестора от сбора платы за проезд при базовом тарифе в размере 50 руб. не покрывает ожидаемых затрат на реализацию данного проекта. Ожидаемый доход инвестора, согласно расчётам, полученным при использовании критерия Кофмана, составляет 45 344,2 млн руб., что на 55 млн руб. меньше затрат, предполагаемых проектировщиками Моста. Однако полученный результат является средневзвешенным значением возможных исходов, при котором степень возможности актуализации каждого из сценариев использовалась в качестве весов. Поэтому в данном подходе полученное среднее значение дохода инвестора в значительной степени зависит от заданной для каждого сценария степени возможности актуализации, устанавливаемой субъективно.

Для повышения степени достоверности определяемого уровня тарифной платы за проезд по Мосту был проведен поверочный расчет с помощью методики Ван Вестендорпа (van Westendorp PSM – price sensitivity measurement) [13]. В ходе исследования было опрошено 194 респондента, которым задавалось четыре вопроса:

А. Как Вы считаете, какая плата за разовый проезд по новому мосту для Вас являлась бы настолько высокой, что Вы не стали бы ездить по нему вообще?

Б. Какая плата за поездку по мосту Вам представляется настолько низкой, что имело бы смысл задуматься о его преимуществах перед другими мостами с точки зрения скорости передвижения в часы пик?

В. Какая стоимость одной поездки по новому мосту кажется Вам высокой, но при которой Вы считали бы для себя возможным пользоваться этим мостом?

Г. Какая сумма разовой оплаты проезда по мосту, с Вашей точки зрения, наиболее приемлема для Вас, и Вы бы выбрали поездку по новому мосту, считая это выгодным для себя?

В результате ответов респондентов на представленные вопросы порождаются шесть распределений ответов:

- А – слишком дорого,
 Б – слишком дешево,
 В – дорого,
 В_а – не дорого (как дополнительное значение к В),
 Г – дешево,
 Г_а – не дешево (как дополнительное значение к Г).

Полученные распределения изображены в виде графика на рис. 2. По оси абсцисс отложены значения тарифных ставок, по оси ординат – накопленный процент респондентов – участников опроса.

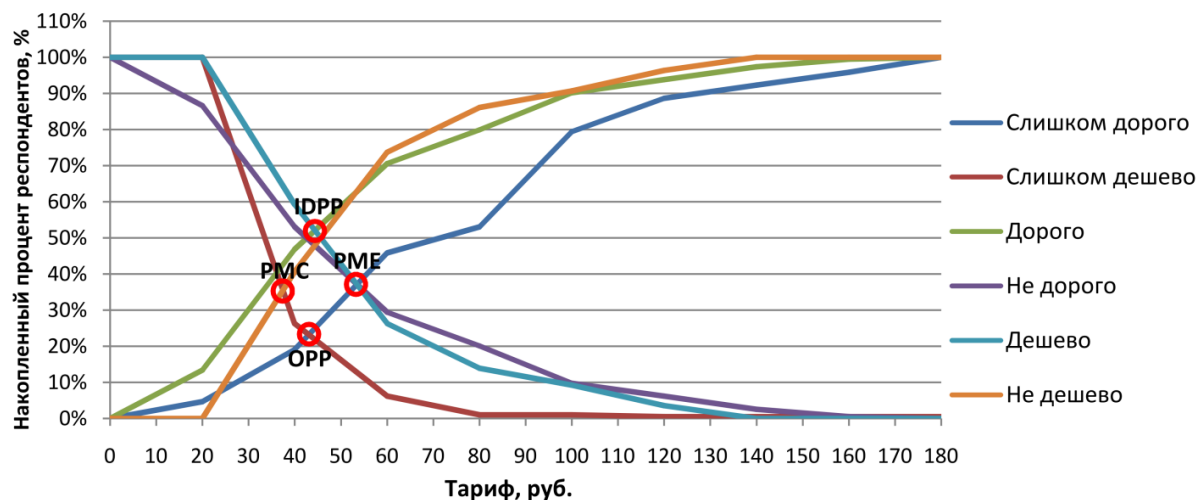


Рис. 2. Распределения ответов респондентов

Пересечение кривых «дорого» и «дешево» дают точку безразличия (IDPP – indifference price point) – это тариф, который большинство людей не считает дорогим или дешевым, им безразлично.

Точка пересечения кривых «слишком дорого» и «слишком дешево» дает оптимальную величину тарифной ставки (OPP – optimum price point). Это точка, в которой меньше всего людей отказываются от поездки по Мосту из-за его высокого тарифа.

Пересечение кривых «слишком дешево» и «не дешево» дает точку предельной дешевизны (PMS – point of marginal cheapness). Пересечение «слишком дорого» и «не дорого» дает точку предельной дороговизны (PME – point of marginal expensiveness).

Данный подход определения «ценовых вех» позволил определить границы, между которыми должна находиться тарифная ставка за проезд по Мосту. На основе полученных точек пересечения кривых (см. рис. 2) можно сделать вывод, что тариф за проезд должен быть установлен приблизительно в интервале от 35 руб. (точка PMS) до 55 руб. (точка PME). Также по графику видно, что точка, отражающая оптимальную тарифную ставку (OPP), приблизительно равна значению 43 руб., а точка безразличия (IDPP) – 44 руб.

Таким образом, полученные по критерию Кофмана и по методике Ван Вестендорпа значения наиболее предпочтительной базовой тарифной ставки находятся в интервале 43–50 руб. В связи с этим можно сделать вывод, что установление инвестором базовой тарифной ставки, близкой к данным значениям, позволит получить максимально возможный (по условиям платежеспособности спроса) доход от сбора платы за проезд по Мосту.

Согласно последней информации, Новосибирская область решила взять на себя расходы, связанные с подготовкой стройплощадки, чем существенно снизила предполагаемые проектировщиками затраты инвестора, в том числе на погашение кредитов, а также пересмотрела расходы инвестора, связанные с содержанием Моста в период эксплуатации. Всё это позволит, как предполагают в правительстве области, снизить затраты инвестора почти в 1,8 раза [14]. В таком случае при установлении базовой тарифной ставки в интервале 43–50 руб. суммарное значение дохода инвестора от сбора платы за проезд позволит не только покрыть затраты на реализацию рассматриваемого инвестиционного проекта, но и получить прибыль.

Авторы благодарят зав. сектором ИЭОПП СО РАН к.э.н. Горяченко Е.Е. за ценные консультации в процессе написания настоящей статьи.

Литература

1. Деревянко, П.М. Оценка проектов в условиях неопределенности / П.М. Деревянко. – http://www.cfin.ru/finanalysis/invest/fuzzy_analysis.shtml (дата обращения: 03.01.2017).
2. Найт, Ф.Х. Риск, неопределенность и прибыль: пер. с англ. / Ф.Х. Найт. – М.: Дело, 2003. – 360 с.
3. Виленский, П.Л. Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика: учеб. пособие / П.Л. Виленский, В.Н. Лившиц, С.А. Смоляк. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Дело, 2002. – 888 с.
4. Заде, Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенный решений / Л. Заде; пер. с англ. Н.И. Ринго; под ред. Н.Н. Моисеева и С.А. Орловского. – М.: Мир, 1976. – 167 с.
5. Жирабок, А.Н. Нечеткие множества и их использование для принятия решений / А.Н. Жирабок. – http://window.edu.ru/resource/814/20814/files/0102_109.pdf (дата обращения: 08.02.2017).
6. Гельруд, Я.Д. Оптимизация развития холдинговой структуры с использованием нечеткой логики / Я.Д. Гельруд // Управление проектами и программами. – 2007. – № 3. – С. 182–190.
7. Недосекин, А.О. Оценка риска инвестиций для произвольно-размытых факторов инвестиционного проекта / А.О. Недосекин, А.М. Кокош. – <http://www.ifel.ru/br3/5.pdf> (дата обращения: 17.12.2016).
8. Постановление Правительства Новосибирской области «О заключении концессионного соглашения о строительстве и эксплуатации на платной основе мостового перехода через р. Обь в створе ул. Ипподромской г. Новосибирска» от 2 июня 2016 г. № 159-п (ред. от 14.07.2016). – <http://www.invest.nso.ru/ru> (дата обращения: 08.01.2017).
9. Инвестору четвертого моста в Новосибирске гарантировали доход в 91 млрд // Информационно-аналитическое интернет-издание «Тайга.инфо». – <http://tayga.info/news/2016/06/02/~127790/> (дата обращения: 09.01.2017).
10. Проектная документация мостового перехода через р. Обь в створе ул. Ипподромской г. Новосибирска. Прогноз интенсивности движения с учетом платной эксплуатации мостового перехода. Книга 1.4. – СПб.: АО «Институт «Стройпроект», 2015.
11. Титов, С.М. Презентация мостового перехода через р. Обь в створе ул. Ипподромской в г. Новосибирске (Центральный мост) (Москва, 08.12.2015 г.) / С.М. Титов. – М., 2015.
12. Хозяйственный риск и методы его измерения: пер. с венг. / Т. Бачкаи, Д. Месена, Д. Мико и др. – М.: Экономика, 1979. – 184 с.
13. Ценовые методы исследования в маркетинге. – <http://works.doklad.ru/view/8Na3xqgcFKI/2.html> (дата обращения: 26.02.2017).
14. Добрались до министров: «После этих дел я по четвертому мосту никогда не проеду» // Информационно-аналитическое интернет-издание «Тайга.инфо». – <http://tayga.info/133194> (дата обращения: 21.03.2017).

Беккер Роман Волдемарович, студент факультета «Бизнес-информатика», Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск; g.bekker@mail.ru.

Кибалов Евгений Борисович, д-р экон. наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН, г. Новосибирск; kibalovE@mail.ru.

Поступила в редакцию 24 марта 2017 г.

EVALUATION OF THE EXPECTED EFFECTIVENESS OF THE INVESTMENT PROJECT IN THE UNCERTAINTY SITUATION

R.V. Bekker¹, r.bekker@mail.ru,

E.B. Kibalov², kibalovE@mail.ru

¹ Siberian Transport University, Novosibirsk, Russian Federation,

² Institute of Economics and Industrial Engineering, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk

The article analyzes the problem of evaluating the expected effectiveness of the construction of a bridge in the city, located on different banks of large lowland rivers. We propose an approach to solving the problem on the basis of application of economic-mathematical methods and expert technology, which allows a certain way to formalize and disclose various types of uncertainty that contributes to making informed investment decisions. For solving problems arising in the framework of the mentioned problems, the test of the theory of complex decision-making Kofman and methods of forming the information base calculations on the basis of expert assessments van Westendorp. In the experimental calculations carried out using the developed system models of the proposed construction of a fourth road bridge across the Ob river in Novosibirsk, demonstrated the impact of the adoption of the designers, investors, construction contractors and future operators of the bridge solutions that take into account not only commercial interests but also the interests of residents – future users of the services of a new artificial structures.

Keywords: expected efficiency, investment project, uncertainty, road bridge, toll rates, criterion Kofman, fuzzy sets, methodology of van Westendorp.

References

1. Derevyanko P.M. [Evaluation of Projects in Conditions of Uncertainty]. Available at: http://www.cfin.ru/finanalysis/invest/fuzzy_analysis.shtml (accessed 03.01.2017).

2. Knight F.H. *Risk, neopredelennost' i pribyl'* [Risk, Uncertainty and Profit]. Moscow, Delo Publ., 2003. 360 p.

3. Vilenskiy P.L., Livshits V.N., Smolyak S.A. *Otsenka effektivnosti investitsionnykh projektov. Teoriya i praktika: Ucheb.posobiye* [Evaluation of the Effectiveness of Investment Projects. Theory and Practice: Textbook]. Moscow, Delo Publ., 2002. 888 p.

4. Zadeh L. *Ponyatiye lingvisticheskoy peremennoy i ego primeneniye k prinyatiyu priblizhennykh resheniy* [The Concept of a Linguistic Variable and Its Application to the Adoption of Approximate Solutions]. Moscow, Mir Publ., 1976. 167 p.

5. Zhirabok A.N. *Nechetkiye mnozhestva i ikh ispol'zovaniye dlya prinyatiya resheniy* [Fuzzy Sets and Their Use for Decision Making]. Available at: http://window.edu.ru/resource/814/20814/files/0102_109.pdf (accessed 08.02.2017).

6. Gel'rud Ya.D. [Optimization of the Development of Holding Structure Using Fuzzy Logic]. *Project and Program Management*, 2007, no. 3, pp. 182–190. (in Russ.)

7. Nedosekin AO, Kokosh A.M. *Otsenka riska investitsiy dlya proizvol'no-razmytykh faktorov investitsionnogo projekta* [Estimation of Investment Risk for Arbitrarily Diluted Factors of the Investment Project]. Available at: <http://www.ifel.ru/br3/5.pdf> (accessed 17.12.2016).

8. *Postanovlenie Pravitel'stva Novosibirskoy oblasti "O zaklyuchenii kontsessionnogo soglasheniya o stroitel'stve i ekspluatatsii na platnoy osnove mostovogo perekhoda cherez r. Ob' v stvore ul. Ippodromskoy g. Novosibirsk"* ot 2 iyunya 2019 g. № 159-p [Decree of the Government of the Novosibirsk Region "On Concluding a Concession Agreement on the Construction and Operation on a Paid Basis of a Bridge across the River Ob' in the Alignment of st. Hippodrome of Novosibirsk" from June 2, 2016, No. 159-p. Available at: <http://www.invest.nso.ru/en> (accessed 08.01.2017).

9. *Investoru chetvertogo mosta v Novosibirsk garantirovali dokhod v 91 mlrd* [The Investor of the Fourth Bridge in Novosibirsk Was Guaranteed Income of 91 Billion]. *Informatsionno-analiticheskoe*

internet-izdanie "Tayga.info" [Informational and Analytical Internet Publication "Taiga.info"]. Available at: <http://tayga.info/news/2016/06/02/~127790/> (accessed 09.01.2017).

10. *Proektnaya dokumentatsiya mostovogo perekhoda cherez r. Ob' v stvore ul. Ippodromskoy g. Novosibirsk. Prognoz intensivnosti dvizheniya s uchetom platnoy ekspluatatsii mostovogo perekhoda. Kniga 1.4* [Project Documentation of the Bridge across the River Ob' in the Alignment of St. Hippodrome in Novosibirsk. Forecast of Traffic Intensity Taking into Account the Paid Operation of the Bridge Crossing. Book 1.4]. St. Petersburg, JSC "Institute 'Stroiproject'" Publ., 2015.

11. Titov S.M. *Prezentatsiya mostovogo perekhoda cherez r. Ob' v stvore ul. Ippodromskoy v g. Novosibirsk (Tsentral'nyy most)* [Presentation of the Bridge Across the River. Ob' in the Alignment of St. Ippodromskoyv. Novosibirsk (Central Bridge)] (Moscow, 08.12.2015).

12. Bachkai T., Mesena D., Miko D. et al. *Khozyaystvennyy risk i metody ego izmereniya* [Economic Risk and Methods of Measuring]. Moscow, Economics Publ., 1979. 184 p.

13. *Tsenovyye metody issledovaniya v marketinge* [Price Research Methods in Marketing]. Available at: <http://works.doklad.ru/view/8Na3xqgcFKI/2.html> (accessed 26.02.2017).

14. *Dobralis' do ministrov: "Posle etikh del ya po chetvertomu mostu nikogda ne proedu"* [Got to the Ministers: "After these Cases, I Will Never Pass on the Fourth Bridge"]. *Informatsionno-analiticheskoe internet-izdanie "Tayga.info"* [Informational and Analytical Internet Publication "Taiga.info"]. Available at: <http://tayga.info/133194> (accessed 21.03.2017).

Received 24 March 2017

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Беккер, Р.В. Оценка ожидаемой эффективности инвестиционного проекта в ситуации неопределенности / Р.В. Беккер, Е.Б. Кибалов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2017. – Т. 17, № 2. – С. 114–126. DOI: 10.14529/ctcr170210

FOR CITATION

Bekker R.V., Kibalov E.B. Evaluation of the Expected Effectiveness of the Investment Project in the Uncertainty Situation. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2017, vol. 17, no. 2, pp. 114–126. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr170210