
УДК 338.47:330.356.3
ББК 65.012.121-09*65

Регион: экономика и социология, 2012, № 2 (74), с. 161–187

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЕКТОВ

Е.Б. Кибалов, А.А. Кин

ИЭОПП СО РАН

А.Б. Хуторецкий

Новосибирский государственный педагогический университет

Аннотация

Анализируется проблема оценки крупномасштабных инвестиционных проектов. Дается постановка задачи в ситуации неопределенности. Формулируется концепция оценки регионально-транспортного проекта с использованием экспертных технологий. Приводится числовой пример оценки на предпроектной стадии сравнительной ожидаемой эффективности альтернативных способов транспортного перехода пролива Босфор Восточный. Показано, при каких условиях сооружение моста на о. Русском является наиболее предпочтительной альтернативой.

Ключевые слова: крупномасштабный проект, транспортный переход, пролив Босфор Восточный, инвестиции, оценка, неопределенность, экспертные оценки, ожидаемая эффективность, альтернативы

Abstract

The study considers an issue of the assessment of large-scaled projects. It also presents our statement of the problem under a situation of uncertainty, concept of assessment of regional-transportation projects by applying expert technologies,

and numerical illustration of how expected efficiencies of the alternative passages of transportation over the Eastern Bosphorus Strait could be assessed at the pre-designing stage. We show under what conditions the construction of a bridge connecting the Russky Island could be regarded as a preferential alternative.

Keywords: large-scaled project, passage of transportation, the Eastern Bosphorus Strait, investments, assessment, uncertainty, expert judgments, expected efficiency, alternatives

КОНЦЕПЦИЯ ОЦЕНКИ

Главная особенность развиваемого в дальнейшем подхода к оценке крупномасштабных инвестиционных проектов (КИП) состоит в том, что такие проекты представляются и анализируются как *сложные системы*. Это отличает наш подход от рекомендуемых в общепринятых методических материалах (российских и зарубежных) и некоторых научных монографиях (см., например, [1–3]), в которых сложную проблему оценки КИП предлагают решать относительно простыми способами, более или менее пригодными для оценки маломасштабных проектов [4, 5]. Как показывает опыт, игнорирование сложности проблемы нередко приводит к неверным оценкам и ошибочным инвестиционным решениям.

Учет сложности проблемы означает прежде всего то, что крупномасштабный инвестиционный проект должен рассматриваться как многоаспектный, поскольку он

- является технико-технологической системой, создаваемой для трансформации ресурсов в продукты и услуги, по качеству и объемам соответствующие целевой установке проекта;
- есть экономическая система, которая должна обеспечивать рентабельную работу технико-технологической системы по всему жизненному циклу проекта;
- есть социальная система, которая должна удовлетворять потребности создающих и эксплуатирующих ее работников, менеджеров и прочих участников проекта;
- является технической системой, создающей техногенную нагрузку на природную среду, порождая экологические эффекты;

- вписываясь в социально-политическую и экономическую систему государства, порождает политические, социальные, экономические и в некоторых случаях военно-стратегические внешние эффекты (экстерналии).

Многоаспектность КИП предопределяет его многоцелевой характер. Степени достижения целей, соответствующих разным аспектам проекта, являются критериями оценки эффективности конкурирующих КИП (или вариантов одного проекта). Главная трудность инвестиционного решения, которое должны принять аналитик и инвестор, состоит именно в его многокритериальности. Проблема осложняется тем, что критерии, соответствующие разным целям КИП, разнородны и не имеют общей (например, стоимостной) меры. Степени достижения целей приходится измерять в разных шкалах (от классификационных до количественных), часто – с использованием экспертных процедур. Поэтому при выборе КИП (или его варианта) следует говорить не об оптимальности, а о целесообразности (решения, варианта, альтернативы). Термин «целесообразное решение» по содержанию совпадает с введенным М. Вебером [6] термином «целерациональное решение»: это наиболее предпочтительное из рассматриваемых решений с учетом целевых установок и обстоятельств (ограничений), описанных, возможно, не количественно, а вербально.

Как правило, варианты (альтернативы) КИП на начальных этапах его разработки слабоструктурированы, некоторые существенные характеристики проекта могут быть оценены только в качественных шкалах. Поэтому невозможно однозначно оценить проектные затраты и результаты, что вносит *неопределенность* в задачу оценки эффективности КИП. Назовем эту неопределенность *эндогенной*.

Имеется и другой, не менее существенный источник неопределенности – внешняя среда проекта. КИП обычно бывают долгосрочными. В течение жизненного цикла проекта могут произойти радикальные и плохо предсказуемые изменения в экономике (а возможно, и в общественном устройстве государства и даже на политической карте мира). Так случилось, например, при реализации проектов Транссибирской железнодорожной магистрали и Суэцкого канала. Неопределенность результатов и последствий осуществления КИП, порожден-

ную изменчивостью внешней среды и влияющую на оценку ожидаемой эффективности проекта, будем называть *экзогенной*.

Методические материалы, широко используемые в проектной практике, рекомендуют преимущественно детерминистские и однокритериальные подходы к оценке коммерческой выгодности проектов. Это оправдано для инвестиционных проектов, которые не являются многоцелевыми, уникальными, долгосрочными, крупномасштабными, т.е. для большинства массово осуществляемых проектов. Но при анализе КИП методы, не учитывающие сложность связей с внешней средой и неопределенность результатов реализации проекта, становятся неадекватными.

Инфраструктурные КИП, как правило, являются капиталоемкими и общественно значимыми. Поэтому в большинстве случаев они инвестируются и эксплуатируются *государством* по всему жизненному циклу, что, как будет показано, определяет методические подходы к оценке вариантов КИП и выбору из них наиболее предпочтительных. Существуют также работоспособные модели партнерства государства и бизнеса при реализации транспортных КИП, но эта проблематика в настоящей статье не затрагивается.

Поскольку КИП являются сложными системами, для оценки ожидаемой эффективности таких проектов ниже используются методы *системного анализа*, который предлагает набор приемов и процедур для исследования слабоструктуризованных сложных проблем. Модельные конструкции системного анализа, как будет показано далее, применяются к оценке КИП дифференцированно.

На первом этапе (рис. 1), когда речь идет о проектном замысле в целом и намерениях потенциальных инвесторов, доступная информация является стратегической, преимущественно качественной, а количественная информация опирается на сведения о проектах-аналогах. Для устранения присущей этому этапу *радикальной неопределенности* применяются соответствующие инструменты системного анализа: дерево целей КИП, модели и критерии стратегических игр, экспертные технологии.

На втором этапе – этапе проектирования, строительства и эксплуатации проекта, когда может быть получена релевантная количествен-

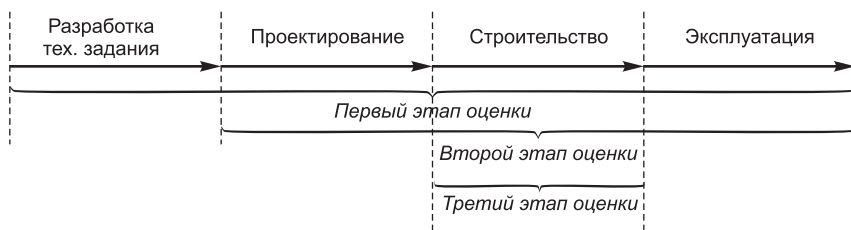


Рис. 1. Жизненный цикл КИП и этапы оценки ожидаемой эффективности

ная информация, появляется возможность применения оптимизационных моделей. Задача обычно осложняется наличием многих критериев оценки конкурирующих альтернатив. На этом этапе сохраняется неопределенность (вероятностная либо интервальная), учет которой требует соответствующих подходов (критерии ожидаемой полезности, стохастическое программирование, техника нечетких множеств).

Таким образом, для оценки ожидаемой эффективности КИП методами системного анализа предлагается применить комплекс моделей и процедур, увязанный с помощью экспертных технологий в гибкую систему сопряженных моделей: качественных, количественных и гибридных. Ниже основные элементы указанного комплекса будут детально описаны и проиллюстрированы на числовом примере применительно к первому этапу оценки. Модели и методы, используемые на втором и третьем этапах, на том же примере рассматриваются в статье И.А. Беспалова, также публикуемой в настоящем номере журнала (см. с. 188–205).

ОБЩАЯ (СТРУКТУРНАЯ) МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ И ВЫБОРА ИНВЕСТИЦИОННОЙ АЛЬТЕРНАТИВЫ

Приведенная ниже структурная модель [7–9] отражает проблемную ситуацию первого этапа, возникающую при оценке вариантов КИП с целью выбора предпочтительной проектной альтернативы.

Формулировка модели. Для построения модели принятия решения (в нашем случае – инвестиционного) задаются следующие множества, характеризующие КИП:

- X – множество допустимых альтернатив;
- Y – множество возможных состояний внешней среды проекта;
- S – множество возможных исходов;
- U – множество критериев оценки исходов;
- E – множество целей КИП.

Проектные альтернативы интерпретируются как значения управляемых переменных; состояния внешней среды (сценарии ее развития) являются значениями неуправляемых переменных.

Множество X включает варианты КИП (альтернативы). Существенным элементом описания альтернативы является организационно-экономический механизм ее реализации в каждом из возможных состояний (сценариев) внешней среды. Разработка и оценка вариантов механизмов реализации альтернатив осуществляются в процессе проектирования одновременно с разработкой и оценкой проектных альтернатив.

Элементы множества Y обычно описывают агрегированно, в форме сценариев развития внешней среды КИП, элементами которой являются инвестиционная политика государства, состояние рынков транспортных услуг (для транспортных проектов), поведение конкурентов и т.п. Во многих случаях можно ограничиться формулированием трех сценариев: пессимистического, оптимистического и промежуточного, субъективно наиболее вероятного (что и делается далее). Принцип формирования таких сценариев ясен из их названий: например, пессимистический сценарий отражает самые неблагоприятные для успешной реализации проекта сочетания факторов внешней среды.

Предположим, что исход полностью определяется выбором альтернативы и состоянием среды. Тогда каждой паре $(x, y) \in X \times Y$ соответствует определенный исход $s \in S$. Другими словами, существует функция $F: X \times Y \rightarrow S$, которая называется *функцией реализации*. Она необходима, так как связь между альтернативами и исходами в общем случае не является детерминированной: результат реализации альтернативы (исход) зависит от неуправляемого состояния внешней среды. Другими словами, существует экзогенная *стратегическая неопределенность*, возникающая вследствие воздействия среды на альтернативу. Поэтому при оценке альтернатив достижения це-

лей проекта необходимо учитывать значения неуправляемых переменных – сценариев развития внешней среды.

Набор $\langle X, Y, S, F \rangle$ называется **реализационной структурой** задачи принятия инвестиционных решений. Реализационная структура отражает связь между выбираемыми альтернативами, состояниями внешней среды и исходами.

Задачи принятия инвестиционных решений. В зависимости от того, какая информация о состоянии внешней среды в период реализации проекта доступна в момент принятия инвестиционного решения, различаются следующие типы задач принятия инвестиционных решений:

1) принятие решения в условиях определенности: состояние внешней среды в период реализации решения известно;

2) принятие решения в условиях риска (стохастической неопределенности): состояние внешней среды в период реализации решения является случайной величиной и есть информация о ее распределении. Эта информация может быть полной (функция распределения) или частичной (математическое ожидание, дисперсия, вероятности некоторых событий и проч.);

3) принятие решения в условиях «радикальной» (природной) неопределенности: известно только множество возможных состояний внешней среды в период реализации решения;

4) принятие решения в условиях конфликта/сотрудничества (субъективной неопределенности): состояние внешней среды в период реализации решения существенно зависит от действий целеустремленных агентов.

Набор $\langle U, E \rangle$ образует **оценочную структуру** задачи принятия инвестиционного решения. Реализационная структура определяет исход взаимодействия пары «альтернатива – состояние среды», а оценочная – обеспечивает оценку этого результата [8]. Элементами множества U являются функции, которые сопоставляют каждому исходу значения **оценочных показателей**. Цели из множества E указывают направления желательных изменений этих показателей.

Для каждой цели $e \in E$ необходимо сформулировать критерий u , который для любой пары $(x, y) \in X \times Y$ позволил бы оценить степень достижения цели e альтернативой x в состоянии y внешней среды. В терминах известной модели «затраты – выгоды» («стоимость – эффективность») можно сформулировать следующие типичные варианты определения критерия $u(x, y)$:

а) максимизация степени достижения цели при ограниченных сверху затратах. Если в рассматриваемой ситуации затраты, связанные с достижением цели, превосходят некоторый заданный уровень, то $u(x, y) = -\infty$. В противном случае критерий принимает значение, равное степени достижения цели;

б) минимизация затрат при ограничении снизу на степень достижения цели. Если в рассматриваемой ситуации степень достижения цели меньше некоторого заданного уровня, то $u(x, y) = +\infty$. Иначе значение критерия равно величине затрат (потерь), связанных с достижением цели;

в) максимизация эффективности достижения цели. Значение критерия равно отношению степени достижения цели при реализации альтернативы x в условиях сценария y к величине связанных с этим затрат.

Взаимодействие реализационной и оценочной структур при оценке ожидаемой эффективности КИП иллюстрирует рис. 2. Здесь надо сделать оговорку, что процессы проектирования (разработки) альтер-

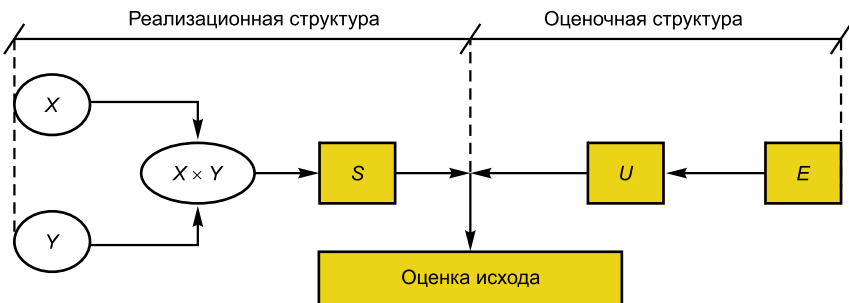


Рис. 2. Структурная модель оценки КИП

нативных вариантов КИП (множество X) и сценариев развития его внешней среды (множество Y) не являются предметом рассмотрения в данной статье, хотя тесно связаны с процедурами оценки.

ОЦЕНКА ВАРИАНТОВ КИП ПРИ ФИКСИРОВАННОМ СЦЕНАРИИ

Зафиксируем состояние внешней среды $y \in Y$. Качество альтернативы (варианта КИП) $x \in X$ при сценарии y описывается набором значений $u(x, y)$ для всех $u \in U$. Предположим, что цели, составляющие множество E , получены посредством декомпозиции *генеральной цели* проекта до такого уровня, на котором можно оценивать степени достижения подцелей, т.е. сформировать множество критериев U . Из предположения следует, что множество целей E является *критериальным срезом* дерева целей КИП.

Пусть $E = \{e_1, \dots, e_K\}$ и критерий $u_k(x, y)$ указывает степень достижения цели e_k при исходе (x, y) . Предположим также, что согласованность формулировок цели и критерия обеспечивает выполнение следующих условий:

$$0 \leq u_k(x, y) \leq 1 \text{ для всех исходов } (x, y) \in S;$$

$u_k(x, y) = 1$ для тех и только тех исходов, при которых цель e_k достигается полностью.

Для неквантифицируемой цели e_k значения $u_k(x, y)$ приходится выявлять с помощью экспертных процедур. В таком случае именно процедура сбора и обработки экспертной информации выступает описанием оценочной функции. Применяемая нами процедура вычисления $u_k(x, y)$ использует экспертные упорядочения пар (x, y) по степени достижения цели e_k , т.е. оценочная функция применяется непосредственно к паре (x, y) . Поэтому в дальнейшем будем считать, что эти пары и являются исходами, $S = X \times Y$ и функция реализации оказывается тождественной.

Чтобы построить интегральную оценку альтернативы, предположим, что для каждой цели e_k из E определен *коэффициент относительной важности* (КОВ) w_k , оценивающий ее вклад в достижение генеральной цели. Эти коэффициенты вычисляются, как правило,

с участием экспертов. Если множество U включает не слишком много целей, то можно непосредственно оценивать КОВ для целей критериального среза. В противном случае для работы с экспертами удобнее применять стандартную процедуру, восходящую к методике PATTERN (см., например, [10]). Эта процедура выполняет декомпозицию вычисления КОВ по уровням дерева целей. Опишем ее для полноты изложения.

Предположим, что построено дерево целей КИП. Пусть m – число уровней дерева целей; $n(i)$ – число вершин (целей) уровня i ($0 \leq i \leq m$). Вершину дерева будем обозначать A_i^j , где i – номер уровня дерева целей; j – номер соответствующей цели внутри уровня i , $1 \leq j \leq n(i)$. Дуга (A_i^j, A_{i+1}^k) означает, что цель с номером k уровня $i+1$ является подцелью цели с номером j уровня i . Единственная вершина A_0^1 уровня 0 соответствует генеральной цели, $n(0) = 1$.

Для каждой пары вершин A_i^j и A_{i+1}^k дерева целей экспертно определяется коэффициент взаимной полезности (КВП) q_{kj}^i , который оценивает вклад цели A_{i+1}^k в достижение цели A_i^j . Должны выполняться соотношения

$$q_{kj}^i \geq 0 \text{ при } 0 \leq i < m, 1 \leq j \leq n(i), 1 \leq k \leq n(i+1); \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^{n(i+1)} q_{kj}^i = 1 \text{ при } 0 \leq i < m, 1 \leq j \leq n(i). \quad (2)$$

Соотношение (2) формализует предположение о том, что степень достижения цели j уровня i определяется степенями достижения целей следующего уровня, причем влиять на степень достижения цели A_i^j могут степени достижения не только ее подцелей, но и всех целей уровня $i+1$.

Для каждой цели A_i^j рассчитывается КОВ p_j^i следующим образом:

$$p_1^0 = 1, p_k^{i+1} = \sum_{j=1}^{n(i)} q_{kj}^i p_j^i \text{ при } 1 \leq k \leq n(i+1). \quad (3)$$

Нетрудно доказать, что $p_j^i \geq 0$ для всех i, j и

$$\sum_{j=1}^{n(i)} p_j^i = 1 \text{ при } 0 \leq i \leq m.$$

Множество E состоит из целей нижнего уровня m , поэтому положим $w_k = p_k^m$ для $k \in 1, \dots, n(m)$.

При любом способе оценки коэффициенты относительной важности для целей из множества E должны удовлетворять условиям

$$w_k \geq 0 \text{ для всех } k \text{ и } \sum_k w_k = 1. \quad (4)$$

Для КОВ, определенных с помощью описанной выше методики, условия (4) выполняются по построению. При непосредственном экспертном оценивании КОВ выполнение условий (4) должно быть обеспечено в процессе сбора и обработки экспертной информации.

Интегральную оценку стратегии x при сценарии y построим в форме линейной свертки:

$$f(x, y) = \sum_k w_k u_k(x, y). \quad (5)$$

Мы интерпретируем $u_k(x, y)$ как степень достижения цели e_k при исходе (x, y) , w_k – как вклад цели e_k в достижение генеральной цели. Поэтому оценку $f(x, y)$ можно интерпретировать как степень достижения генеральной цели при реализации варианта x в условиях сценария y . Таким образом, коэффициенты относительной важности целей соизмеряют разнокачественные частные критерии и определяют скалярный интегральный критерий качества (5). Этот критерий позволяет сравнивать конкурирующие альтернативы КИП при фиксированном сценарии y .

Из $0 \leq u_k(x, y) \leq 1$ и (4) следует, что $f(x, y) = 1$ тогда и только тогда, когда $u_k(x, y) = 1$ для всех k . Другими словами, генеральная цель достигается полностью тогда и только тогда, когда все частные цели полностью достигнуты.

Описанный выше подход к оценке вариантов проекта учитывает только степени достижения целей КИП, т.е. результаты. Это корректно, если затраты (ущерб) для рассматриваемых вариантов проекта

одинаковы. Более сложен случай, когда проекты различаются уровнями затрат и результатов.

Если затраты для сравниваемых проектных альтернатив (или вариантов проекта) различны, то возникает проблема соизмерения затрат и результатов, описанных вектором «затраты – выгоды». Если все компоненты этого вектора имеют стоимостную меру (и, следовательно, соизмеримы), то при фиксированном сценарии можно применять общепринятые методики оценки экономической эффективности инвестиционных проектов. Если же связанные с проектом затраты и выгоды несоизмеримы (разнокачественные), то задачу можно свести к предыдущей следующим образом.

Введем в формулировку генеральной цели проекта требование получения результатов без излишних затрат и неприемлемых ущербов. Тогда при декомпозиции генеральной цели на всех уровнях дерева целей и в его критериальном срезе появятся подцели, связанные с уменьшением затрат и ущербов. Значимость этих целей для достижения генеральной цели можно оценить так же, как значимость «обычных» целей, соответствующих положительным эффектам проекта.

Предлагаемый подход к определению коэффициентов w_k с использованием дерева целей КИП и экспертных процедур излагается ниже.

ВЫБОР ВАРИАНТА КИП С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ СЦЕНАРИЯ

Для выбора предпочтительной альтернативы КИП на первом этапе оценивания в условиях неопределенности состояния внешней среды в период реализации проекта будем рассматривать ситуацию принятия решения как игру лица, принимающего решение (инвестора), с «природой» [11]. Инвестор выбирает альтернативу, а природа (внешняя среда проекта) «выбирает» сценарий, вследствие чего определяется исход игры. Главное предположение этой модели – отсутствие у внешней среды собственной цели: природа не дружелюбна и не враждебна, но плохо предсказуема.

Выбор альтернативы осуществляется на основании предварительных построенных оценок $f(x, y)$ каждой альтернативы x в условиях каждого сценария y . Предположим, что множества X и Y конечны:

$$X = \{x_1, \dots, x_m\}, Y = \{y_1, \dots, y_n\}.$$

Положим $u_{ij} = f(x_i, y_j)$. Тогда результаты оценивания альтернатив можно свести в **оценочную матрицу** $A = (u_{ij})$ размерности $m \times n$. Элементы этой матрицы являются оценками (по интегральному критерию) исходов, соответствующих всем возможным парам <альтернатива – сценарий>. **Профилем оценок** стратегии x_i называют вектор (u_{i1}, \dots, u_{in}) .

Приведем самые употребительные критерии выбора предпочтительной альтернативы x_{i^*} (или, что то же самое, номера i^*) по оценочной матрице [7]. В ситуации радикальной неопределенности, когда оценки вероятностей сценариев неизвестны или не учитываются, применяют правило Гурвица или правило Сэвиджа. В ситуации стохастической неопределенности (риска), когда известны оценки вероятностей реализации сценариев, применяют правило Байеса.

1. Правило Гурвица с параметром $\lambda \in [0, 1]$:

$$i^* \in \text{Arg max}_i [\lambda \min_j u_{ij} + (1 - \lambda) \max_j u_{ij}]. \quad (6)$$

Здесь параметр λ можно интерпретировать как меру осторожности лица, принимающего решение. Для каждой стратегии легко определить промежуток (возможно, пустой) значений λ , при которых она является наилучшей по правилу Гурвица. Частные случаи правила Гурвица – правило Вальда ($\lambda = 1$) и правило «крайнего оптимизма» ($\lambda = 0$).

2. Правило Вальда:

$$i^* \in \text{Arg max}_i (\min_j u_{ij}). \quad (7)$$

Это правило отражает установку осторожного инвестора, не склонного к риску. Выбранная таким образом **максиминная стратегия** x_{i^*} максимизирует гарантированный (при самом неблагоприятном сценарии) результат.

3. Правило крайнего оптимизма:

$$i^* \in \text{Arg max}_i (\max_j u_{ij}). \quad (8)$$

Это правило приемлемо для инвестора, склонного к риску. Выбирая **максимаксную стратегию**, он рассчитывает на реализацию самого благоприятного сценария.

4. Правило Сэвиджа:

$$i^* \in \text{Arg min}_i (\max_j c_{ij}), \text{ где } c_{ij} = \max_k u_{kj} - u_{ij}. \quad (9)$$

Здесь c_{ij} – отклонение оценки стратегии x_i при сценарии y_j от оценки наилучшей при этом сценарии стратегии – интерпретируется как риск или «сожаление». Правило выбирает стратегию «минимаксного сожаления», которая минимизирует максимальный риск. Профиль оценок этой стратегии минимально отклоняется от профиля оценок гипотетической «идеальной» стратегии, оценка которой в каждом сценарии равна максимальной оценке, достижимой в этом сценарии стратегиями из X .

5. Правило Байеса:

$$i^* \in \text{Arg max}_i (\sum_j p_j u_{ij}), \quad (10)$$

где p_j – оценки вероятностей сценариев, удовлетворяющие условиям

$$p_j \geq 0, \sum_j p_j = 1. \quad (11)$$

Второе из условий требует, чтобы набор сценариев был полным в том смысле, что множество Y должно включать все возможные состояния внешней среды. Оценки вероятностей сценариев, как правило, определяются экспертно. Если сценарии равновероятны, правило Байеса превращается в правило Лапласа.

6. Правило Лапласа:

$$i^* \in \text{Arg min}_i \frac{1}{n} \sum_j u_{ij} = \text{Arg max}_i \sum_j u_{ij}. \quad (12)$$

Это правило называют также правилом «недостаточного основания»: если о вероятностях реализации сценариев развития внешней среды ничего не известно, то предполагают (нередко без достаточных оснований), что эти сценарии равновероятны (равновозможны).

Есть и другие, реже употребляемые правила принятия решений в условиях неопределенности: Ходжа – Лемана, Кофмана, Гермейера, правило произведений, правило максимальной вероятности заданного уровня ценности, обобщенный критерий Гурвица.

Перечисленные выше правила формализуют разные системы предпочтений на множестве стратегий, поэтому они отбирают, вообще говоря, разные стратегии. Принимая решение, инвестор может использовать то правило, которое в наибольшей степени соответствует его предпочтениям.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ

В рамках изложенного выше подхода к выбору предпочтительного варианта КИП экспертные процедуры используются для определения коэффициентов взаимной полезности целей, степеней достижения целей альтернативами и, возможно, вероятностей реализации сценариев. Применяемая нами методика сбора и обработки экспертной информации описана в работе [7].

Мы считаем, что во всех указанных случаях непосредственное количественное оценивание (с соблюдением, как правило, дополнительных ограничений типа (1) и (11)) является трудной задачей для эксперта и результаты такого оценивания ненадежны. Поэтому мы предлагаем каждому эксперту упорядочить оцениваемые объекты по их качеству в смысле заданного критерия. Результат работы эксперта можно представить как упорядоченный список всех объектов, соединенных знаками «больше» (предшествующий объект лучше последующего) или «равно» (предшествующий объект эквивалентен последующему).

Предположим, что m_{ij} экспертов предпочитают объект i объекту j и n_{ij} экспертов считают эти объекты равноценными. Процедуру оценивания можно интерпретировать как «турнир между объектами», в котором число кругов равно числу экспертов и объект i «набирает» $a_{ij} = m_{ij} + 0,5n_{ij}$ очков против объекта j . Величина $s_{ij} = a_{ij} / a_{ji}$ при $i \neq j$ дает относительную оценку качества объектов i и j при автономном сравнении этих объектов. Положим $s_{ii} = 1$ для всех i и составим матри-

цу $\mathbf{S} = (s_{ij})$. По терминологии работы [12], это матрица парных сравнений в степенной калибровке.

Известный метод обработки матрицы парных сравнений [13, 14] позволяет по матрице \mathbf{S} найти относительные оценки объектов. А именно, собственный вектор этой матрицы, соответствующий ее максимальному собственному числу (*главный собственный вектор*), пропорционален вектору оценок объектов.

Предположим, что мы оцениваем коэффициенты взаимной полезности q_{kj}^i целей A_{i+1}^k для фиксированной цели A_i^j предшествующего уровня. Тогда эксперты упорядочивают цели A_{i+1}^k уровня $i + 1$ по невозрастанию их значимости для достижения цели A_i^j . Чтобы найти оценки q_{kj}^i , в соответствии с формулой (2) главный собственный вектор матрицы \mathbf{S} нужно нормировать делением на сумму его координат.

Из условий (11) следует, что такое же нормирование нужно использовать при оценке вероятностей реализации сценариев (эксперты упорядочивают сценарии по неубыванию вероятностей).

Рассмотрим теперь оценивание степеней достижения фиксированной цели A критериального среза при различных исходах. В этом случае эксперты упорядочивают все исходы (x_i, y_j) по невозрастанию степени достижения цели A стратегией x_i в условиях сценария y_j и матрица \mathbf{S} имеет размерность $mn \times mn$. Допустим, что множества X и Y с достаточной полнотой описывают доступные альтернативы и возможные состояния внешней среды. Тогда рассматриваемая цель не может быть достигнута в большей степени, чем при наиболее благоприятном для нее исходе. Это значит, что максимальная координата главного собственного вектора матрицы \mathbf{S} соответствует исходу, в котором степень достижения цели A равна единице. Следовательно, вектор относительных оценок нужно нормировать делением на его максимальную координату.

Описанный подход сталкивается с серьезными трудностями, если все эксперты предпочтут объект i объекту j хотя бы для одной пары объектов i и j . Тогда $m_{ij} = n_{ij} = a_{ij} = 0$ и значение s_{ij} не определено. Проблему можно обойти двумя способами: либо заменить нулевое

значение m_{ij} малым положительным числом, либо ввести фиктивного «эксперта», для которого все объекты равноценны (тогда все a_{ij} возрастут на 0,5).

ОЦЕНКА ВАРИАНТОВ ТРАНСПОРТНОГО КИП (ЧИСЛОВОЙ ПРИМЕР)

Вербальное описание проекта. В качестве числового примера применения описанного выше подхода к оценке крупномасштабных инвестиционных проектов рассмотрим проект обеспечения устойчивой скоростной транспортной связи между о. Русским и г. Владивостоком. Проблема, которую призван решить этот проект, существует давно: действующая паромная переправа между городом и островом устарела морально и физически, является «узким местом», препятствующим пространственному развитию Владивостока и совершенствованию его транспортной системы.

После принятия решения о проведении во Владивостоке саммита АТЭС-2012 и строительстве на Русском ключевых объектов, обеспечивающих проведение саммита в соответствии с мировыми стандартами, проект приобрел характер федерального. Сейчас он является частью масштабных преобразований транспортной инфраструктуры Приморского края, которые должны обеспечить мероприятия саммита АТЭС-2012. Финансирование строительства осуществляется в рамках Федеральной целевой программы «Экономическое и социальное развитие Дальнего Востока и Забайкалья до 2013 года» и ее подпрограммы «Развитие г. Владивостока как центра международного сотрудничества в Азиатско-Тихоокеанском регионе» [15]. Создаваемая в рамках проекта транспортная коммуникация, перекрывающая пролив Босфор Восточный, и строящийся параллельно мост через пролив Золотой Рог позволят создать автомагистраль протяженностью 5,7 км, которая образует стержень транспортной системы г. Владивостока.

Техническими альтернативами преодоления пролива Босфор Восточный являются мост, тоннель и паром. Будем далее обозначать эти варианты проекта как x_1 , x_2 и x_3 соответственно.

Структуризация системы целей проекта. Из приведенного выше описания проекта ясен его многоцелевой характер. Действительно, по замыслу разработчиков, реализация проекта в системной связи с другими инфраструктурными проектами Приморья и г. Владивостока позволит создать линию взаимодействия России и стран АТР и укрепить позиции России и края в этом бурно развивающемся регионе (*цель политическая*). Кроме того, реализация проекта будет способствовать существенному улучшению качества жизни населения г. Владивостока и всего Приморского края, даст импульс устойчивому развитию территории (*цель социальная*). Наконец, проект позволит превратить г. Владивосток в центр делового, политического и инновационного сотрудничества на востоке страны (*цель экономическая*).

Указанные цели образуют систему, мы будем считать их подцелями *общественной цели* проекта, которая, в свою очередь, является одной из двух подцелей его генеральной цели. Второй подцелью генеральной цели полагаем *коммерческую цель*, связанную с финансовой эффективностью проекта.

Критериями предпочтительности конкурирующих альтернатив, позволяющими судить об их сравнительной ожидаемой эффективности, естественно считать степени достижения общественной и коммерческой целей. Нам неизвестно, каким образом оценивал альтернативы генеральный проектировщик проекта. Поэтому весь нижеследующий текст можно рассматривать как проверку правильности уже принятого решения, когда в качестве наиболее предпочтительной была выбрана ныне реализуемая альтернатива x_1 (мост).

Перечисленные выше подцели общественной цели не имеют адекватной денежной меры. Поэтому для дальнейшей структуризации использовалась полупоформальная методика построения дерева целей. Неформальным элементом методики является участие экспертов на всех этапах построения дерева целей*. Формальными элементами выступают правила, которыми должны руководствоваться эксперты,

* Группа экспертов состояла из 11 чел. и была сформирована из числа сотрудников Сибирского государственного университета путей сообщения и Института экономики и организации промышленного производства СО РАН.

процедуры выявления коллективного мнения и способы обработки экспертной информации [10].

С учетом дефицита релевантной информации, что является особенностью первого (предпроектного) этапа, и уникальности проекта коммерческая цель не декомпозировалась. В качестве показателя (критерия), оценивающего степень достижения этой цели, использовался показатель «период окупаемости проекта» в предположении, что чем меньше период окупаемости, тем больше степень достижения коммерческой цели проекта. Экспертам предлагалось упорядочить исходы по неубыванию срока окупаемости, что эквивалентно невозрастанию степени достижения коммерческой цели. Далее эти упорядочения обрабатывались специальной программой OrdEx. Эта программа по экспертным упорядочениям находит нормированный главный собственный вектор матрицы парных сравнений. Как и для других целей, считалось, что максимальное значение координаты этого вектора соответствует исходу, который обеспечивает полное (единичное) достижение коммерческой цели, и степень ее достижения во всех исходах измерялась в долях от этого максимального значения.

После проведения с экспертами процедуры «мозгового штурма» структура дерева целей проекта получила вид, представленный на рис. 3. В критериальный срез дерева целей вошли шесть подцелей общественной цели проекта и коммерческая цель (выделены тоном).

Оценивание КВП и расчет КОВ. На рисунке 3 целям присвоены традиционные иерархические коды. Соответствие между этими кодами и обозначениями целей устанавливает табл. 1.

Эксперты согласились с тем, что структура дерева целей и коэффициенты взаимной полезности целей инвариантны во всех сценариях. Они также решили, что на степень достижения каждой цели уровня 2 влияют только степени достижения двух ее подцелей.

Соизмерение значимостей целей уровня 1 (общественной и коммерческой) – ключевой и одновременно наиболее трудный момент процедуры экспертного оценивания. Мнения экспертов при ранжировании этих целей существенно разошлись, поэтому пока не будем фиксировать



Рис. 3. Дерево целей проекта

Таблица 1

Уровни, коды и обозначения целей

Уровень (i)	0			1			2			3					
Номер цели внутри уров- ня (j)	1	1	2	1	2	3	1	2	3	4	5	6			
Код цели	0	0.1	0.2	0.1.1	0.1.2	0.1.3	0.1.1.1	0.1.1.2	0.1.2.1	0.1.2.2	0.1.3.1	0.1.3.2			
Обозначение цели	A_0^1	A_1^1	A_1^2	A_2^1	A_2^2	A_2^3	A_3^1	A_3^2	A_3^3	A_3^4	A_3^5	A_3^6			

Таблица 2

КВП для целей второго и третьего уровней

Уровень	1			2					
Цель	A_1^1			A_2^1		A_2^2		A_2^3	
Подцель	A_2^1	A_2^2	A_2^3	A_3^1	A_3^2	A_3^3	A_3^4	A_3^5	A_3^6
КВП	0,5	0,3	0,2	0,6	0,4	0,4	0,6	0,5	0,5

Таблица 3

КОВ для целей критериального среза при неопределенном φ

Обозначение цели критериального среза	A_3^1	A_3^2	A_3^3	A_3^4	A_3^5	A_3^6	A_1^2
Номер цели в критериальном срезе	1	2	3	4	5	6	7
КОВ	0,3 φ	0,2 φ	0,12 φ	0,18 φ	0,1 φ	0,1 φ	1 - φ

численные значения соответствующих КОВ (q_{11}^0 и q_{21}^0), а учитывая (4), зададим их параметрически, положив $q_{11}^0 = \varphi$ и $q_{21}^0 = 1 - \varphi$.

Для подцелей уровней 2 и 3 с помощью экспертной процедуры, изложенной выше, были получены коэффициенты взаимной полезности, указанные в табл. 2.

Теперь по формуле (3) можем найти коэффициенты относительной важности для целей критериального среза (табл. 3).

Построение и анализ оценочной матрицы. Три сценария развития внешней среды проекта (оптимистический, наиболее вероятный и пессимистический) были сформулированы и предъявлены экспертам. Обозначим эти сценарии как y_1 , y_2 и y_3 соответственно. В сочетании с тремя альтернативами (мост, тоннель и паром), которые обозначались как x_1 , x_2 и x_3 соответственно, они порождают девять исходов (x_i, y_j). Элементами оценочной матрицы, в соответствии с (5), являются числа

$$u_{ij} = f(x_i, y_j) = \sum w_k u_k(x_i, y_j), \quad (13)$$

где w_k – КОВ цели критериального среза с номером k (см. табл. 3); $u_k(x_i, y_j)$ – степень достижения этой цели альтернативой x_i в сценарии j .

Для подцелей общественной цели значения $u_k(x_i, y_j)$ при $1 \leq k \leq 6$ оценивались с использованием экспертных упорядочений по методике, описанной выше. Степень достижения коммерческой цели ($k = 7$) оценивалась с помощью показателя «срок окупаемости».

В таблице 4 степени достижения целей оценены для каждого сценария отдельно; это означает, что максимальное (по альтернативам) достижение подцелей в рамках *рассматриваемого* сценария и есть полное достижение подцели. Однако в другом сценарии максимум может быть другим, т.е. содержание выражения «полное достижение подцели» зависит от сценария. Для того чтобы соизмерить степени достижения целей в разных сценариях, мы разработали и осуществили следующую процедуру.

Таблица 4

Оценки степеней достижения целей критериального среза для каждого исхода

Альтернатива	Номер цели критериального среза						
	1	2	3	4	5	6	7
<i>Сценарий y_1 (оптимистический)</i>							
x_1 (мост)	1	1	1	1	1	1	1
x_2 (тоннель)	0,4	0,54	0,54	0,54	1	0,54	0,3
x_3 (паром)	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,1
<i>Сценарий y_2 (наиболее вероятный)</i>							
x_1 (мост)	1	1	1	1	1	1	0,3
x_2 (тоннель)	1	1	0,54	0,54	1	0,54	1
x_3 (паром)	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,1
<i>Сценарий y_3 (пессимистический)</i>							
x_1 (мост)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
x_2 (тоннель)	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54
x_3 (паром)	1	1	1	1	1	1	1

Каждой подцели критериального среза ставились в соответствие все возможные пары «альтернатива – сценарий», и экспертам предлагалось упорядочить эти пары по невозрастанию степени достижения подцели критериального среза при соответствующем сочетании альтернативы и сценария. Так как в нашем примере три альтернативы и три сценария, число упорядочиваемых объектов равно девяти.

Далее, как и в предыдущем случае, экспертные упорядочения оценивались с использованием методики, описанной выше. Изложим эту процедуру в деталях.

Обращаясь к табл. 4, сформируем и занумеруем пары (исходы):

- I – <альтернатива x_1 (мост) – сценарий y_1 (оптимистический)>;
- II – <альтернатива x_2 (тоннель) – сценарий y_1 (оптимистический)>;
- III – <альтернатива x_3 (паром) – сценарий y_1 (оптимистический)>;
- IV – <альтернатива x_1 (мост) – сценарий y_2 (наиболее вероятный)>;
- V – <альтернатива x_2 (тоннель) – сценарий y_2 (наиболее вероятный)>;
- VI – <альтернатива x_3 (паром) – сценарий y_2 (наиболее вероятный)>;
- VII – <альтернатива x_1 (мост) – сценарий y_3 (пессимистический)>;
- VIII – <альтернатива x_2 (тоннель) – сценарий y_3 (пессимистический)>;
- IX – <альтернатива x_3 (паром) – сценарий y_3 (пессимистический)>.

Экспертные ранжирования пар I–IX по степени достижения каждой цели критериального среза были обработаны программой OrdEx, и результаты были пронормированы так, как описано выше. Полученные оценки степеней достижения целей критериального среза при всех исходах указаны в табл. 5. Эта таблица содержит матрицу значений $u_k(x_i, y_j)$, причем парам (x_i, y_j) соответствуют строки, а номерам k целей критериального среза – столбцы.

Далее, приняв, например, значение $\varphi = 0,65$, получаем коэффициенты относительной важности целей критериального среза (табл. 6). Наконец, умножив матрицу из табл. 5 на столбец КОВ, указанных в табл. 6, найдем степени достижения генеральной цели при всех исходах (табл. 7). Учитывая нумерацию исходов, составим оценочную матрицу $\mathbf{A} = (u_{ij})$, которая представлена в табл. 8.

Таблица 5

Степени достижения целей критериального среза

Исход	Подцель						
	1	2	3	4	5	6	7
I	1,00	0,18	1,00	1,00	1,00	1,00	0,18
II	0,82	1,00	0,82	0,82	0,82	0,82	0,32
III	0,23	0,55	0,18	0,23	0,23	0,23	0,68
IV	0,68	0,23	0,68	0,68	0,68	0,55	0,45
V	0,55	0,82	0,55	0,55	0,55	0,68	0,55
VI	0,27	0,45	0,36	0,27	0,27	0,36	0,82
VII	0,45	0,32	0,27	0,45	0,45	0,32	0,23
VIII	0,36	0,68	0,45	0,36	0,36	0,41	0,32
IX	0,23	0,32	0,23	0,18	0,18	0,18	1,00

Таблица 6

КОВ подцелей критериального среза при $\varphi = 0,65$

Номер цели в критериальном срезе	1	2	3	4	5	6	7
КОВ	0,20	0,13	0,08	0,12	0,06	0,06	0,35

Таблица 7

Степени достижения генеральной цели

Исход	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Степень достижения генеральной цели	0,61	0,67	0,42	0,54	0,59	0,50	0,33	0,40	0,50

Таблица 8

Оценочная матрица

Стратегия	Сценарий				
	y_1	y_2	y_3	$\min_j u_{ij}$	$\max_j u_{ij}$
x_1	0,61	0,54	0,33	0,33	0,64
x_2	0,67	0,59	0,40	0,40	0,67
x_3	0,42	0,50	0,50	0,42	0,50
$\max_i u_{ij}$	0,67	0,59	0,50		

Матрица сожалений

Стратегия	Сценарий			
	y_1	y_2	y_3	Максимум
x_1	0,06	0,05	0,16	0,16
x_2	0,00	0,00	0,10	0,10
x_3	0,24	0,09	0,00	0,24

Сразу видно, что альтернатива x_2 (тоннель) доминирует над альтернативой x_1 (мост). Поэтому далее будем сравнивать только альтернативы x_2 и x_3 . Критерий Гурвица для них имеет вид

$$G(x_2) = 0,4\lambda + 0,67(1 - \lambda) = 0,67 - 0,27\lambda,$$

$$G(x_3) = 0,42\lambda + 0,5(1 - \lambda) = 0,5 - 0,08\lambda.$$

Решив неравенство $G(x_2) \geq G(x_3)$, выясним, при каких значениях $\lambda \in [0, 1]$ альтернатива x_2 является лучшей. Оказывается, правило Гурвица рекомендует строить тоннель, если показатель осторожности λ не превышает 0,79. Осторожный инвестор, у которого $\lambda > 0,79$, предпочел бы паром.

При крайних значениях λ правило Гурвица превращается в правило Вальда ($\lambda = 1$) и правило оптимизма ($\lambda = 0$). Из предшествующего анализа ясно, что предпочтительной альтернативой по правилу Вальда является паром, а по правилу оптимизма – тоннель.

Используя последнюю строку табл. 8, построим матрицу сожалений (табл. 9). Видим, что по правилу Сэвиджа предпочтительной является альтернатива x_2 (тоннель).

* * *

Результаты анализа однозначны только в отношении альтернативы x_1 : сооружение моста неэффективно. Правило Гурвица в отличие от правила Сэвиджа имеет аксиоматическое обоснование, однако нет обоснованных способов идентификации параметра λ . Выбор между

тоннелем и паромом зависит от соотношения оценок значимости целей первого уровня (общественной и коммерческой), применяемого правила принятия решений и осторожности инвестора. В конечном счете выбор является прерогативой инвестора, опирающегося на собственную систему ценностей [16] (в том числе склонность к риску), интуицию и финансовые возможности. Наш опыт оценки КИП указывает на необходимость проведения в подобных обстоятельствах дополнительных туров экспертизы. В самых сложных случаях целесообразно создать альтернативную группу экспертов и повторить всю процедуру оценки. По-видимому, в отношении анализируемого нами проекта реализовался именно такой случай.

В действительности была выбрана и активно осуществляется при мощной федеральной поддержке альтернатива x_1 (мост), которую наш анализ отверг как неэффективную (по любому критерию). Это означает, что правительственные эксперты и лица, принимавшие решения относительно интересующего нас проекта, исходили из системы ценностей, существенно отличающейся от той, которая отражена нашими экспертами в дереве целей проекта и коэффициентах относительной важности целей. Ключевую роль играет параметр φ , значения которого указывают на относительную важность для достижения генеральной цели проекта *общественной* (0,65) и *коммерческой* (0,35) целей. Выполнив несложные, но громоздкие расчеты, для каждого критерия принятия решений можно выяснить, при каких значениях параметра φ строительство моста становится предпочтительным по этому критерию. Это позволило бы расчетным путем выявить (хотя бы частично) систему приоритетов, при которой строительство моста оказывается предпочтительнее других вариантов реализации проекта.

На этом завершается первый этап оценки стратегических альтернатив проекта. Затем, на втором этапе оценки, как показано в следующей далее статье И.А. Беспалова, анализ углубляется исходя из фактически принятого решения о сооружении моста через пролив Босфор Восточный и оцениваются альтернативные варианты реализации этого инвестиционного решения.

Литература

1. **Методические** рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция) / М-во экон. РФ, М-во фин. РФ, ГК по стр-ву, архит. и жил. политике; рук. авт. кол. Коссов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. – М.: ОАО «НПО»; Экономика, 2000. – 421 с.
2. **Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А.** Оценка эффективности инвестиционных проектов: Теория и практика: Учеб.-практ. пособие. – М.: Дело, 2001. – 832 с.
3. **Руководство** по применению метода анализа издержек и выгод для оценки инвестиционных проектов. Подготовлено для Оценочного комитета Директората региональной политики Европейской комиссии / Evaluation Unit DG Regional Policy European Commission Structural Fund _ ERDF. Cohesion Fund eu ISPA.2008.
4. URL: <http://bre.ru/risk/911.html> (дата обращения 10.10.2011).
5. URL: <http://smao.ru/files/magazine/2009/02/38-39.pdf> (дата обращения 10.10.2011).
6. **Вебер М.** Избранные произведения. – М.: Прогресс, 1990. – 808 с.
7. **Кибалов Е.Б., Горяченко В.И., Хуторецкий А.Б.** Системный анализ ожидаемой эффективности крупномасштабных проектов. – Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2008. – 164 с.
8. **Розен В.В.** Математические модели принятия решений в экономике: Учеб. пособие. – М.: КД «Университет»; Высшая школа, 2002. – 288 с.
9. **Вилкас Э.Й., Майминас Е.З.** Решения: теория, информация, моделирование. – М.: Радио и связь, 1981. – 328 с.
10. **Макаров И.М., Соколов В.В., Абрамов А.Л.** Целевые комплексные программы. – М.: Знание, 1980. – 136 с.
11. **Шубик М.** Теоретико-игровые решения и производственная организация // Математические методы в социальных науках / Под ред. П. Лазерфельда и Н. Генри. – М.: Прогресс, 1973. – С. 170–195.
12. **Белкин А.Р., Левин М.Ш.** Принятие решений: комбинаторные модели аппроксимации информации. – М.: Наука, 1990. – 160 с.
13. **Хуторецкий А.Б.** Экспертное оценивание объектов по некватифицированному критерию с помощью модели Бержа – Брука – Буркова. – Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 1994 / Препринт № 130.
14. **Саати Т.** Принятие решений: Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.
15. **Во Владивостоке** создадут дирекцию по строительству автодорог. – URL: <http://ria.ru/zemlia/20080506/106653642.html> (дата обращения 25.01.2012).
16. **Мартино Дж.** Технологическое прогнозирование. – М.: Прогресс, 1977. – 591 с.

Рукопись статьи поступила в редколлегию 26.02.2012 г.

© Кибалов Е.Б., Кин А.А., Хуторецкий А.Б., 2012