

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ЭКОНОМИКИ И ОРГАНИЗАЦИИ  
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

СИСТЕМНОЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ  
МЕЗО- И МИКРОЭКОНОМИЧЕСКИХ  
ОБЪЕКТОВ

Ответственные редакторы:  
академик РАН В.В. Кулешов,  
д.э.н. Н.И. Суслов

Новосибирск  
2014

УДК 338:92  
ББК 65.9(2Р)23  
С 409

С 409 **Системное моделирование и анализ мезо- и микроэкономических объектов** / отв. ред. В.В. Кулешов и Н.И. Суслов. – Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2014. – 488 с.

*Коллектив авторов:*

к.э.н. Амосенок Э.П. (гл. 5), к.э.н. Бабенко Т.И. (гл. 4), к.э.н. Бажанов В.А. (гл. 5),  
Беспалов И.А. (гл. 7), к.э.н. Блам Ю.Ш. (гл. 1: пп. 1.1, 1.2, 1.4, 1.5; гл. 4),  
Бузулуцков В.Ф. (гл. 1: п. 1.3.; гл. 2: пп. 2.4, 2.5), д.ф.-м.н. Гимади Э.Х. (гл. 8: п. 8.3),  
д.э.н. Глущенко К.П. (гл. 7), к.ф.-м.н. Гончаров Е.Н. (гл. 8: п.8.3), к.э.н. Журавель Н.М. (гл.3: п. 3.3),  
д.э.н. Кибалов Е.Б. (гл. 7), к.э.н. Лугачева Л.И. (гл. 5), к.э.н. Маркова В.М. (гл. 3: пп. 3.1, 3.2, 3.4),  
к.э.н. Машкина Л.В. (гл. 1: пп. 1.1, 1.2, 1.4, 1.5; гл. 4), к.э.н. Мусатова М.М. (гл. 5),  
д.э.н. Пляскина Н.И. (гл. 8), к.э.н. Ситро К.А. (гл. 6), к.э.н. Соколов А.В. (гл. 5),  
д.э.н. Суслов Н.И. (введение, гл. 2, заключение), д.э.н. Титов В.В. (гл. 9),  
к.э.н. Харитонова В.Н. (гл. 8), д.э.н. Хуторецкий А.Б. (гл. 7),  
к.э.н. Чурашев В.Н. (гл. 3), к.э.н. Ягольницер М.А. (гл. 6)

Представленная монография посвящена теории, методологии и практической реализации системного моделирования экономики. В центре обсуждения – опыт проектирования и построения программно-модельных конструкций, нацеленных на анализ развития многоотраслевых комплексов и отраслевых систем, а также предприятий и корпораций. Обсуждаются разработки в данной области, объединенные идеологией проекта СОНАР (Согласование Отраслевых и Народнoхозяйственных Решений). Данный подход характеризуется отказом от проектирования систем моделей на принципах жесткой комплементарности и строгого согласования моделей и предполагает создание модельных конструкций под возникающую проблему, учет внешних связей многоотраслевых комплексов в рамках использования специализированных народнохозяйственных межрайонных межотраслевых моделей, каждая из которых, нацелена на анализ проблем конкретной сферы национальной экономики. Модели нижних уровней системы учитывают отраслевую и региональную специфику. Книга рассчитана на ученых-экономистов, специалистов в области моделирования, аспирантов экономической и математической специализации.

ISBN 978-5-89665-260-1



УДК 338:92  
ББК 65.9(2Р)23

© ИЭОПП СО РАН, 2014 г.  
© Коллектив авторов, 2014 г.

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES  
SIBERIAN BRANCH  
INSTITUTE OF ECONOMICS AND INDUSTRIAL ENGINEERING  
SIBERIAN BRANCH OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

SYSTEM  
MODELING AND ANALYSIS  
OF MEZO- AND MICROECONOMIC  
OBJECTS

Responsible editors:  
V.V. Kuleshov,  
N.I. Suslov

NOVOSIBIRSK  
2014

**System Modeling and Analysis of Mezo- and Microeconomic Objects /**  
Edited by Kuleshov V.V., Suslov N.I. – IEIE of SB RAS, Novosibirsk,  
2014. – 488 p.

*Authors:*

**Amosionok E.P.** (Ch. 5), **Babenko T.I.** (Ch. 4), **Bazhanov V.A.** (Ch. 5),  
**Bespalov I.A.** (Ch. 7), **Blam Yu.S.** (Ch. 1: Sect. 1.1, 1.2, 1.4, 1.5; Ch. 4),  
**Buzulutskov V.F.** (Ch. 1: Sect. 1.3.; Ch. 2: Sect. 2.4, 2.5), **Gimadi E.Kh.** (Ch. 8: Sect. 8.3),  
**Glushenko K.P.** (Ch. 7), **Goncharov E.N.** (Ch. 8: Sect. 8.3), **Zhuravel N.M.** (Ch.3: Sect. 3.3),  
**Kibalov E.B.** (Ch. 7), **Lugacheva L.I.** (Ch. 5), **Markova V.M.** (Ch. 3: Sect. 3.1, 3.2, 3.4),  
**Mashkina L.V.** (Ch. 1: Sect. 1.1, 1.2, 1.4, 1.5; Ch. 4), **Musatova M.M.** (Ch. 5),  
**Pliaskina N.I.** (Ch. 8), **Sitro K.A.** (Ch. 6), **Sokolov A.V.** (Ch. 5),  
**Suslov N.I.** (Introduction, Ch. 2, Conclusion), **Titov V.V.** (Ch. 9),  
**Kharitonova V.N.** (Ch. 8), **Khutoretskij A.B.** (Ch. 7),  
**Churashov V.N.** (Ch. 3), **Yagolnitser M.A.** (Ch. 6)

The monograph presented is devoted to theory, methodology and application of system modeling of the economy. Experience of elaboration of software-model constructions created to analyze the development of both multi-industry sectors and separate companies is set in the focus of a discussion. We bring and consider together a scope of research works integrated by the ideology SONAR (Sector Oriented and National models' Adjustment Research). This approach features with rejection from both a rigorous complementarity and strict formal coordination of the models involved and suggests specification of model constructions to treat arising problems. At the same time it takes into account external relations of the multi-industry economic sectors using so called specialized multi-sector multi-region models of national economy each of which is aimed at analysis of the problems of a specific sphere of the economy. The book would be appropriate for economists, mathematicians working in the field of economic modeling, post graduate and PhD students of economics and mathematics.

## Глава 7

# ОЦЕНКА ОЖИДАЕМОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

### 7.1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

В мире накоплен огромный методологический и методический опыт оценки эффективности крупномасштабных инвестиционных проектов (далее – КИП). Обобщению и сопоставительному анализу современной практики оценки *транспортных* КИП, отраженной в официальных методиках стран ЕС, Северной Америки, Японии, Австралии, Новой Зеландии, ЮАР и ряда международных организаций, посвящены обширные обзоры [Economic..., 2004; Developing... Deliverable 1... (эл. ист. инф.); Improved... Deliverable 1... (эл. ист. инф.)]. Разработаны также предложения по развитию методических подходов и европейских стандартов оценки эффективности КИП, применяемых в странах ЕС, основанные на результатах анализа существующих практик [Improved... Deliverable 3.2... (эл. ист. инф.); Developing... Deliverable 5... (эл. ист. инф.)].

Принципиально важным является то, что предметом оценки выступают транспортные объекты, создаваемые за счет государственных инвестиций (что не исключает того или иного участия частного капитала) и в интересах всего общества. И поэтому как результаты, так и затраты оцениваются с *общественных*, а не рыночных позиций<sup>1</sup>.

Можно выделить три подхода к оценке эффективности КИП, сложившиеся к настоящему времени: микроэкономический, многокритериальный, макроэкономический.

Такая несколько неуклюжая классификация (по разным основаниям), принятая в зарубежных источниках, базируется на прагматических соображениях. Дело в том, что многокритериальный подход может как синтезировать микро- и макроэкономические подходы, так и оперировать показателями только микро- или макроуровня, а также охватывать внеэкономические аспекты.

Как было отмечено выше, мировой опыт оценки эффективности КИП (не исключая, заметим, и советский) огромен, поэтому мы лишены возможности с достаточной полнотой изложить его здесь. В данном разделе указанные подходы рассматриваются в общих чертах, «крупными мазками». В частности, мы не касаемся особенностей оценки эффективности на разных этапах реализации КИП.

---

<sup>1</sup> Что касается инвестиционных проектов, в том числе крупномасштабных, реализуемых за счет частных инвестиций и в интересах тех или иных коммерческих структур, оценка их эффективности составляет проблематику финансового анализа.

**Микроэкономический подход.** Данный подход более известен как cost-benefit analysis – анализ затрат и результатов<sup>1</sup>. Этот подход наиболее распространен на практике, тогда как макроэкономический и многокритериальный подходы рассматриваются скорее как вспомогательные, дополняющие его (так, предложения по стандартизации методов оценки КИП [Developing... Deliverable 5 (эл. ист. инф.)] эти подходы вообще не затрагивают). Считается, что начало практическому применению принципов анализа затрат и результатов было положено в начале XX века. Военно-строительными войсками США – US Army Corps of Engineers (которые, как и военно-строительные части Советской Армии, широко занимались и сооружением гражданских объектов, в частности гидротехнических сооружений), а первое законодательное требование к обоснованию общественных проектов на основе этих принципов было установлено в 1939 г. в законе США о борьбе с наводнениями (Flood Control Act of 1939) [Gramlich, 1981, с. 7; Guess, Farnham, 2000, с. 304].

Теоретически анализ затрат и результатов был обоснован и развит в рамках экономической теории благосостояния. Согласно ей, проект должен быть признан эффективным, если он удовлетворяет критерию Парето: улучшает положение части общества без ухудшения положения хотя бы одного из членов общества. Однако на практике он неприменим из-за невозможности межличностных сопоставлений благосостояния (полезностей), поэтому взамен был разработан критерий Калдора–Хикса («потенциальный критерий Парето»). Он состоит в том, что выигрыш от реализации проекта должен превышать проигрыш, при этом предполагается, что выигравшая часть общества *потенциально* может компенсировать потери тем, чье благосостояние снизилось. Этот критерий и лежит в основе современного анализа затрат и результатов<sup>2</sup>.

Затраты и результаты представляются в денежном выражении; первые представляют собой увеличение благосостояния общества, вторые – уменьшение. Результаты оцениваются совокупной по всему обществу готовностью платить (willingness to pay) за блага, которые дает проект. Готовность пла-

---

<sup>1</sup> Различные англо-русские словари дают разный перевод термина «cost-benefit analysis»: анализ «затраты–выгода», анализ выгодности затрат, анализ затрат и эффективности, анализ затрат и доходов, анализ издержек и выгод, анализ затрат и результатов. Мы будем придерживаться последнего из перечисленных вариантов, который представляется нам наиболее удачным.

<sup>2</sup> Однако последнее слово еще не сказано. Критерий Калдора–Хикса разделяет эффективность и справедливость, при этом вопросы последней (превращение потенциальной компенсации в реальную за счет политики распределения) считаются прерогативой политиков, а не экономистов. Ряд авторов возражает против этого, основываясь на том, что тогда из рассмотрения исключается ряд благ (или «антиблаг»), и предлагает учитывать при оценке проектов моральные соображения. Это направление получило название «новый анализ затрат и результатов», а модифицированный критерий – «моральный критерий Калдора–Хикса» [Zerbe, 2004, 2007]. Предлагается также включить элементы «нового анализа затрат и результатов» в стандартизованную общеевропейскую методологию оценки эффективности транспортных КИП [Developing... Deliverable 5, с. 31–34 (эл. ист. инф.)].

тять – это максимальная сумма, с которой член общества согласен расстаться для приобретения единицы соответствующего товара или услуги. Затраты же оцениваются совокупной по всему обществу готовностью принять компенсацию (*willingness to accept*) за единицу блага, отвлекаемого на реализацию проекта (или связанного с его реализацией ущерба). Она представляет собой минимальную сумму, которую член общества согласился бы принять в обмен на отказ от данных благ<sup>1</sup>. Однако, согласно общепринятому мнению, количественное различие между готовностью платить и готовностью принять компенсацию невелико, поэтому обычно первая используется для оценки и затрат, и результатов.

Все множество индивидуальных готовностей платить дает функцию спроса на рассматриваемое благо; при этом совокупная сумма, «сэкономленная» членами общества, чья готовность платить превышает фактическую цену блага  $P_0$ , образует выигрыш потребителей. Реализация КИП должна приводить к снижению цены блага до  $P_1$  и росту его потребления с  $Q_0$  до  $Q_1$ . Исходя из этого денежной оценкой результатов проекта будет являться увеличение выигрыша потребителей. Именно такой подход и был предложен еще в позапрошлом веке Ж. Дюпюи (и формализован А. Маршаллом). Но, строго говоря, выигрыш потребителей не является измерителем благосостояния общества, поскольку по мере снижения цены растет реальный доход потребителей (это означает, что меняется сама единица измерения). Для корректной оценки благосостояния необходимо использовать вместо маршалловской кривой спроса скомпенсированную кривую спроса (хиксовский спрос). Однако в работе Р. Виллига [Willig, 1976] было показано, что неточность оценки общественного благосостояния, вызванная заменой хиксовского спроса маршалловским, невелика (и на практике окажется в пределах точности оценки кривой спроса). Это в определенной степени реабилитирует подход Дюпюи–Маршалла и его повсеместное применение в практике анализа затрат и результатов.

Анализ затрат и результатов базируется на схеме частного равновесия, которая имеет дело с «прямыми» эффектами КИП, отражающимися на пользователях системы, созданной в результате реализации КИП, на ее операторах и правительстве. Это подразумевает, что все сектора, использующие данную систему, находятся в состоянии совершенно-конкурентного равновесия при отсутствии заметной экономии от масштаба. Такая предпосылка позволяет локализовать проект и сосредоточить социально-экономический анализ на рассматриваемом секторе (в нашем случае – транспортном) [Maskie и др., 2003]<sup>2</sup>. Вместе с тем некоторые внешние по отношению к нему эффекты (к примеру экологические) также принимаются во внимание.

---

<sup>1</sup> Здесь есть, однако, тонкость: в некоторых случаях готовность принять компенсацию может быть составной частью оценки результатов, а готовность платить – составной частью оценки затрат [Zerbe, 2007].

<sup>2</sup> В работе [Zerbe, 2007] и некоторых других работах рассматривается анализ затрат и результатов в схеме общего равновесия, однако на практике такой путь из-за его сложности

Рассмотрение с точки зрения интересов общества требует оценки общественной ценности вовлекаемых в КИП ресурсов, каковой являются альтернативные стоимости ресурсов. В идеальном случае рыночные цены являются хорошей их оценкой. Однако в действительности в рыночных ценах присутствуют существенные искажения, которые должны быть устранены при оценке проекта (довольно подробные практические рекомендации по этому поводу содержатся в справочнике Всемирного банка [Handbook..., 1998]).

Следует заметить, что такой подход основывается на неявном и (насколько нам известно) никогда не оговариваемом допущении, что экономика функционирует оптимально, т.е. находится на границе области производственных возможностей. Содержательно это означает, что в экономике отсутствуют неиспользуемые производственные мощности и трудовые ресурсы, и их вовлечение в проект требует отвлечения от потенциального использования в других сферах. Такая посылка далеко не всегда соответствует действительности, тем более в современной России. А если она не выполняется, то вопрос о затратах проекта теряет ясность: создание новых рабочих мест и загрузку свободных мощностей, обусловленные реализацией проекта, следует отнести скорее к выгодам проекта, чем к затратам.

Общая схема расчета эффективности КИП может быть представлена в следующем виде [Developing... Deliverable 5 (эл. ист. инф.)]:

$$\Delta W = \Delta CS + \Delta PS + \Delta GR - \Delta EE - \Delta IC, \quad (7.1)$$

где  $\Delta W$  – общий эффект проекта (изменение благосостояния общества),  $\Delta CS$  – прирост выигрыша потребителей создаваемой транспортной системы,  $\Delta PS$  – сальдо изменения эксплуатационных затрат и выручки оператора транспортной системы (прирост выигрыша производителя транспортных услуг),  $\Delta GR$  – изменение поступлений в государственный бюджет,  $\Delta EE$  – внешние эффекты (влияние на окружающую среду, потери от аварий и т.п.),  $\Delta IC$  – инвестиции (в том числе направляемые на смягчение отрицательных воздействий проекта).

В зарубежной практике оценки железнодорожных (и вообще транспортных) КИП наиболее часто выигрыш потребителей квантифицируется в терминах денежной оценки экономии времени на доставку груза (поездку) от начального до конечного пункта. Этот метод иллюстрирует график на рис. 7.1, где увеличение выигрыша потребителей  $\Delta CS$  – площадь заштрихованной фигуры.

Затраты на доставку тонны груза (или затраты пассажира на одну поездку) от начального до конечного пункта составляют  $p \cdot t$ , где  $t$  – длительность доставки (поездки),  $p$  – ценность экономии единицы времени.

---

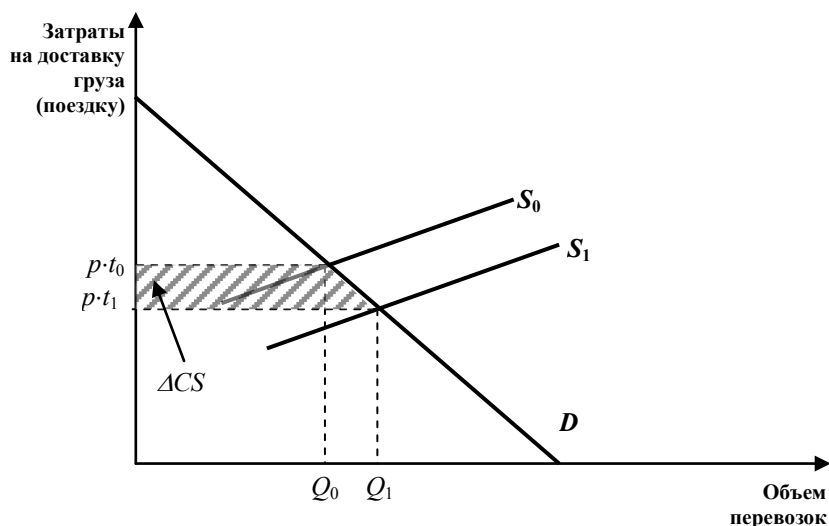
и большого объема необходимой информации вряд ли реализуем. Хотя авторы этих работ и приводят конкретные примеры, они имеют чисто иллюстративный характер.



Объем перевозок измеряется количеством перевезенных тонн груза (числом пассажиров). В результате реализации КИП время доставки груза (поездки) снижается с  $t_0$  до  $t_1$ , что сопровождается ростом объема перевозок с  $Q_0$  до  $Q_1$ . Результаты КИП – увеличение выигрыша потребителей – оценивают по формуле

$$\Delta CS = (Q_0 + Q_1)(t_1 - t_0)p/2.$$

Как легко видеть, в этой формуле предполагается линейность функции спроса (как и показано на рис. 7.1). Такое повсеместно принимаемое упрощающее предположение избавляет от необходимости эмпирически оценивать функцию спроса (что представляет собой весьма непростую задачу) – оказывается достаточным оценить уменьшение времени доставки и спрогнозировать рост объема перевозок. Но при этом снижается точность оценки величины  $\Delta CS$ .



Обозначения:  $D$  – линия спроса на перевозки,  $S_0$  – линия предложения до реализации КИП,  $S_1$  – линия предложения после реализации КИП.

Рис. 7.1. Изменение выигрыша потребителей от реализации железнодорожного КИП

Оценка изменения выигрыша потребителей производится для трех направлений использования транспортных услуг: деловые пассажирские перевозки (когда пассажир совершает поездку в интересах работодателя), прочие пассажирские перевозки, перевозка грузов, каждому из которых соответствует свое значение  $p$ . Методы оценки величины  $p$  сложны и довольно разнообразны, им посвящена обширная литература, обзор которой вывел бы нас за рамки настоящего раздела. В идеале такая оценка должна

производиться для каждого КИП, однако на практике часто используют «нормативные» значения – величины  $p$ , оцененные для данной страны и зафиксированные в национальных методиках оценки транспортных КИП. В табл. 7.1 дана сводка результатов мета-анализа различных исследований по оценке  $p$  для разных стран ЕС. Авторы этой работы рекомендуют использовать их в случае отсутствия национального «норматива» и невозможности квантифицировать ценность экономии единицы времени для условий конкретного проекта.

Таблица 7.1

### Ценность экономии единицы времени

Вид перевозок	Единица измерения	Среднее значение по 25 странам ЕС	Минимум (Литва)	Максимум (Люксембург)
Деловые поездки	Евро/час на 1 пассажира	23,82	11,58	38,02
Иные поездки (в зависимости от длины маршрута)	Евро/час на 1 пассажира	8,48–10,89	4,43–5,69	11,91–15,30
Грузовые перевозки	Евро/час на 1 т груза	1,22	0,72	1,70

Источник: [Developing... Deliverable 5, с. 73–75 (эл. ист. инф.)].

В России такой путь в настоящее время вряд ли возможен. Нам неизвестно ни одного отечественного исследования, посвященного квантификации ценности экономии времени за счет реализации транспортных проектов<sup>1</sup> (но нужно отметить, что и в ЕС данный путь используется не во всех странах – так, «норматив»  $p$  отсутствует в Польше). Кроме того, по самой своей сути оценка результатов проекта по экономии времени доставки применима только в условиях достаточно плотной транспортной сети, когда транспортный проект представляет собой альтернативу уже существующим способам доставки. В случае же, когда рассматривается транспортный КИП в районе нового хозяйственного освоения (что совершенно не характерно для ЕС и большинства других стран, но вполне обыденно для России), для него просто не будет базы для сравнения.

Мы не будем рассматривать подходы к оценке остальных составляющих расчетной схемы (7.1), сделаем только несколько замечаний. Знаки составляющих в ней (которые в конкретных случаях могут отличаться от указанных) отнюдь не определяют их отнесения к затратам или результатам. А их различие особенно важно, когда в качестве оценочного показателя используется отношение результатов к затратам ( $BCR$ ). В одном из зарубежных источников [Bewertungsmethode..., 2005, с. 78] предлагаются следующие определения: затраты – потребление ресурсов оператором транспортной сис-

<sup>1</sup> Отметим также, что российской статистике и практике обоснования транспортных проектов незнакомо разделение пассажирских поездок на деловые и неделовые.

.....

темы (при их сокращении относительно базы для сравнения они входят с отрицательным знаком), результаты – ресурсные выигрыши потребителей транспортных услуг и третьей стороны (отдельные составляющие также могут иметь отрицательный знак) и поступления государству или оператору. Таким образом, в число затрат включаются инвестиции и эксплуатационные затраты. Снижение эксплуатационных затрат, например после реконструкции существующей дороги, выступают как отрицательные затраты. Результаты охватывают экономию на времени доставки, безопасность, воздействие на окружающую среду, поступления государству или оператору.

Что касается цен, используемых при расчете различных показателей, то основой для их оценки служат рыночные цены, с которыми производится преобразование (конверсия) в факторные цены. На практике конверсия обычно заключается в «очистке» рыночных цен от косвенных налогов и дотаций. Однако в ряде европейских стран используются рыночные цены. Их отличие от факторных цен составляет от 7,7% (в Швейцарии) до 25% (в Венгрии) [Developing... Deliverable 1..., с. 20 (эл. ист. инф.)].

Хотя анализ затрат и результатов основан на стоимостных оценках, КИП может вызывать эффекты, не поддающиеся оценке в денежных терминах. Такие эффекты принимаются во внимание на основе дополнительного анализа, но, естественно, какие-либо универсальные рекомендации здесь отсутствуют.

Для характеристики эффективности КИП в стоимостном выражении используются показатели чистого дисконтированного дохода (*NPV*), отношение результатов к затратам (*BCR*), внутренней нормы доходности (*IRR*) и их модификации, при исчислении которых применяется техника дисконтирования. Эти показатели общеизвестны, поэтому ограничимся лишь двумя замечаниями, уточняющими их трактовку применительно к оценке эффективности КИП.

Необходимо отметить, что аналогичные показатели используются в финансовом анализе, т.е. при оценке коммерческой эффективности проектов частными фирмами (при разработке технико-экономических обоснований или, как сейчас модно говорить, бизнес-планов). Из-за этого в отечественной литературе некоторые авторы путают финансовый анализ с анализом затрат и результатов<sup>1</sup>. Однако при сходстве формы они принципиально отличны по содержанию. Анализ затрат и результатов имеет дело с оценками с точки зрения общества, и все составляющие показателя эф-

---

<sup>1</sup> Некоторую дезориентирующую роль тут играет и сложившаяся в отечественной литературе терминология: «чистый дисконтированный доход» является доходом только в финансовом анализе, а при анализе затрат и результатов эта величина характеризует некоторый выигрыш общества, не связанный с денежными потоками. Исходный же англоязычный термин (*net present value*) – неудачно переведенный – не отсылает напрямую к доходу и равно пригоден для обоих случаев из-за многозначности слова *value*: его можно перевести как «величина», «ценность», «стоимость» и т.п.

.....

фективности – это далеко не рыночные параметры. В случае же финансового анализа результаты являются реальными финансовыми поступлениями фирмы, затраты – расходами в рыночных ценах, а норма дисконтирования – рыночной ставкой процента.

Кроме того, отметим, что как в отечественных методиках оценки эффективности КИП, так и при разработке технико-экономических обоснований конкретных проектов частными фирмами много внимания уделяется учету инфляции (рекомендации по учету инфляции содержат и некоторые зарубежные методики оценки КИП). Для этого необходимо спрогнозировать динамику роста цен различных составляющих затрат, что, в свою очередь, требует принятия ряда гипотез о характере динамики цен в разных сферах (а в случае финансового анализа – и динамику ставки процента). Такая совокупность гипотез оказывается крайне ненадежной, и немалые усилия, приложенные к прогнозу инфляции, оказываются потраченными зря. Выходом, на наш взгляд, является принятие единственной, ничуть не менее реалистичной, гипотезы, что темп роста цен всех составляющих, входящих в расчет показателя эффективности, будет одинаков. Тогда необходимость в прогнозировании инфляции вообще отпадает: все ценовые показатели берутся в постоянных ценах базового года, а в качестве ставки процента принимается не номинальная, а реальная.

Анализ затрат и результатов при оценке транспортных КИП за рубежом иногда все же сопровождается финансовым анализом, выполняющим при этом весьма ограниченную и сугубо вспомогательную роль: она состоит в том, чтобы проверить, обеспечивается ли безубыточность оператора создаваемой транспортной системы. Но в большинстве стран методики оценки транспортных КИП вопросы финансового анализа вообще не затрагивают. Дело, видимо, в том, что в этих странах имеется устоявшаяся тарифная система, и все оценки проводятся при неявном предположении о ее неизменности (хотя, справедливости ради, надо отметить, что в неоднократно упоминавшемся выше интернет-источнике [Developing... Deliverable 5 (эл. ист. инф.)] содержатся рекомендации, правда очень нечеткие и лаконичные, учитывать при оценке эффективности транспортных КИП предположения о тарифной политике). В России же положение совершенно иное: транспортная тарифная система до сих пор находится в стадии становления, т.е. отсутствует согласие не только относительно тарифной политики, но даже ее принципов. А оценка объемов перевозок, необходимая для оценки эффективности предполагаемого транспортного КИП, *критически* зависит от того, какими будут тарифы на перевозку.

Здесь мы приходим к принципиально важной проблеме ценообразования на железнодорожные перевозки. Она возникает при любом (микро- или макроэкономическом) подходе к оценке эффективности транспортных КИП, мы рассматриваем ее при обсуждении микроэкономического подхода только из соображений удобства, поскольку здесь она впервые затронута.

Проблема состоит в том, что железнодорожные перевозки относят к отрасли с возрастающим эффектом масштаба. Это означает, что с ростом объема перевозок средние издержки (затраты на перевозку единицы груза или одного пассажира) уменьшаются. Следует сказать, что мнение о железнодорожном транспорте как отрасли с возрастающим эффектом масштаба основывается только на общих соображениях и представляет собой скорее гипотезу. Не имеется ни одного эмпирического исследования, посвященного проверке этой гипотезы на каком-либо российском материале. Тем не менее будем полагать, что эта гипотеза справедлива. И тогда транспортная система, созданная в результате реализации КИП, оказывается аналогом естественной монополии. Как известно, в этом случае установление цены на уровне цены совершенно-конкурентного рынка, т.е. равной предельным издержкам  $MC$ , не является общественно оптимальным. Максимизируя рыночный выигрыш потребителей<sup>1</sup>, такой способ ценообразования делает невозможной безубыточную деятельность оператора транспортной системы: тариф не покрывает средних издержек  $AC$ . Напомним, что предельные издержки совпадают со средними в точке минимума последних, и

$$MC(Q) < AC(Q) \text{ при } Q < \arg \min_q AC(q).$$

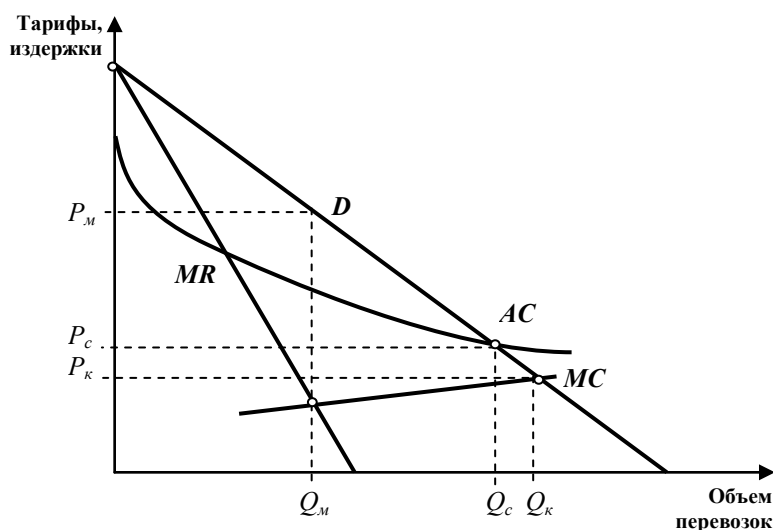
Обратимся к известной графической модели естественной монополии, представленной на рис. 7.2. В отличие от бухгалтерской практики здесь рассматриваются «экономические» издержки, включающие нормальную прибыль; средние издержки представляют собой экономические издержки на единицу объема работ (перевозок). Прибыль здесь также «экономическая», представляющая собой валовую («бухгалтерскую») прибыль за вычетом нормальной. Таким образом, разность между тарифом на перевозки и средними издержками,  $P - AC$ , является удельной (на единицу перевозок) прибылью, полученной сверх нормальной. Оператор транспортной системы получает максимальную прибыль при тарифе  $P_m$ , ограничивающем перевозки объемом  $Q_m$ , неприемлемым с точки зрения общества. Максимальный объем перевозок  $Q_k$  имеет место при тарифе  $P_k = MC(Q_k) = D(Q_k)$ . В этом случае  $P_k < AC(Q_k)$ : бухгалтерская прибыль, получаемая оператором, во всяком случае меньше нормальной, а может быть и отрицательной, т.е. тогда деятельность оператора окажется убыточной и в бухгалтерском смысле.

На практике используются два основных способа регулирования тарифов на услуги транспортных систем.

Первый способ состоит в том, что тариф устанавливается на уровне  $P_k$  (т.е. на уровне предельных издержек), а перевозчику (перевозчикам) выплачивается дотация, возмещающая его издержки, равные (теоретически)

<sup>1</sup> Подчеркнем, что это не тот выигрыш потребителей, о котором шла речь ранее и который изображен на рис. 7.1.

$(AC(Q_k) - P_k)Q_k$ . Отечественный пример – субсидирование пассажирских авиаперевозок между европейской частью России и Дальним Востоком [Постановление..., 2009]. По-видимому, для ликвидации все растущей изоляции рынков Дальнего Востока (и некоторых рынков Сибири) от общероссийских целесообразно субсидирование также грузовых железнодорожных перевозок между восточными районами страны и ее центральной частью. Недостатком этого способа является увеличение нагрузки на государственный бюджет, что может потребовать увеличения налоговых сборов.



Обозначения:  $D$  – линия спроса на перевозки,  $AC$  – средние текущие издержки (включающие нормальную прибыль),  $MC$  – предельные издержки (скорость изменения текущих издержек);  $MR$  – предельный доход (скорость изменения выручки).

Рис. 7.2. Транспортная система как естественная монополия

Обычным же способом регулирования естественных монополий в России является установление тарифов на уровне средних издержек при данном объеме услуг:  $P_c = AC(Q_c) = D(Q_c)$ . По сравнению с предыдущим способом он приводит к снижению объема потребления услуг (перевозок) до  $Q_c < Q_k$ . Но главный порок этого метода в том, что он меняет мотивацию монополиста. Снижение издержек при таком способе ценообразования перестает для него быть средством увеличения прибыли, наоборот, она растет при увеличении средних издержек. Вследствие недостаточного контроля издержек естественных монополистов регулирующими органами первые включают в состав издержек затраты, не имеющие отношения к производственной деятельности (содержание футбольных команд, собственных самолетов компаниями, не занимающимися авиаперевозками, и т.д.). Но есть и вполне легальные и даже «социально оправданные» пути увеличения издержек. Так, в 1990–1997 гг. производство электроэнергии в России неуклонно падало,

тогда как численность промышленно-производственного персонала в отрасли столь же неуклонно росла (в остальных же отраслях промышленности она снижалась)<sup>1</sup>; опережающими темпами увеличивалась и зарплата в электроэнергетике [Глущенко, 1999].

Проанализировав рассмотренные два способа, Р. Коуз обосновал предпочтительность «поэлементного ценообразования» [Коуз, 2007, с. 74–91], при котором в конечной цене выделяются издержки производств с возрастающим и падающим эффектом масштаба. Первая часть цены устанавливается на уровне средних издержек первых производств, вторая часть – на уровне предельных издержек последних. Применительно к железнодорожной системе это издержки на содержание инфраструктуры и издержки на собственно осуществление перевозок (что приводит к двухчастному тарифу). Такое разделение лежит, например, в русле замысла реформы ОАО РЖД, предполагающего, что железнодорожная инфраструктура останется в ведении ОАО РЖД, а собственно перевозки будут переданы в руки частных компаний-перевозчиков. Однако не вполне ясно, возможно ли конкурентное ценообразование на их услуги: в некоторой степени для них тоже имеет место убывание средних издержек (например, общие затраты на осуществление одной поездки пригородной электрички почти одинаковы и когда она загружена полностью, и когда вообще пустая).

Анализ экономики с возрастающим эффектом масштаба приводит к выводу, что с точки зрения экономической теории благосостояния оптимальным является ценообразование по Рамсею (Рамсею–Буате) – см., например, [Baumol, Bradford, 1970]. В настоящее время ОАО РЖД возлагает большие надежды на этот способ ценообразования. Согласно правилу Рамсея, для многопродуктовой монополии цены устанавливаются обратно пропорционально абсолютной величине ценовой эластичности спроса на данный вид услуг  $i$ :  $P_i = \alpha_i / |E_i|$ , где коэффициенты  $\alpha_i$  выбираются таким образом, чтобы в совокупности деятельность оператора транспортной системы была безубыточной (что, по сути, предполагает перекрестное субсидирование). Легко видеть, что для однопродуктовой монополии ценообразование по Рамсею эквивалентно ценообразованию по средним издержкам, лишь завуалированному способом расчета: условие безубыточности приводит к тому, что коэффициент  $\alpha$  определяется равенством  $\alpha / |E| = AC$ .

В мире, насколько нам известно, ценообразование по Рамсею на практике не применяется (по крайней мере, не удалось найти ни одного случая практического использования цен Рамсея); имеются только расчеты аналитиков, что мог бы дать такой способ ценообразования для той или иной реальной транспортной системы (например, [Train, 1977]). И дело не столько в практических труд-

---

<sup>1</sup> Проследить динамику после 1997 г. не представляется возможным, поскольку показатель численности промышленно-производственного персонала исчез из отечественной статистики (остался только показатель общей численности занятых в отрасли).

ностях оценки величин эластичностей, сколько в том, что социальная приемлемость цен Рамсея может оказаться сомнительной. Ведь чем ниже эластичность спроса на услугу, тем выше будет тариф на нее. Но причина низкой эластичности спроса – отсутствие заменителей и (или) жизненная необходимость данной услуги. Например, если для грузовой перевозки альтернативой железной дороге может быть автомагистраль, то для дальней пассажирской перевозки доступной альтернативы может вообще не найтись.

В рамках проекта по унификации расчетов затрат при оценке эффективности транспортных КИП в Европе были проведены сопоставления трех различных тарифных политик с помощью моделей частного и общего равновесия (на примере нескольких европейских стран): ценообразования по предельным издержкам, по средним издержкам и по Рамсею [Nash, 2003]. Дифференциация услуг транспорта включала разделение грузовых и пассажирских перевозок и перевозок в периоды пиковой нагрузки на транспорт и в остальное время. В качестве базы для сравнения была принята существующая ситуация (т.е. расчеты отвечали на вопрос: что произошло бы в случае реформы ценообразования?). Это исследование показало, что ценообразование по предельным издержкам всегда приводит к повышению общественного благосостояния, а ценообразование по Рамсею – в большинстве случаев, тогда как ценообразование по средним издержкам всегда приводит к снижению общественного благосостояния.

Существуют и иные, менее распространенные, способы регулирования естественных монополий, например лимитное ценообразование (price-cap regulation) и ценообразование с учетом нормы отдачи от капитала (rate-of-return regulation).

Мы ограничиваемся проведенным обсуждением, поскольку собственно вопросы регулирования цен на транспортные услуги выходит далеко за рамки нашей темы. Цель обсуждения состояла в стремлении показать, что та или иная тарифная политика приводит к значительно отличающимся затратам потребителей транспортных услуг, а следовательно, и спросу на них. И может статься, особенно в России, что транспортный КИП будет эффективен при одной тарифной политике и неэффективен при другой. Отсюда следует, что в российских условиях при оценке транспортных КИП предположения о тарифной политике должны явно учитываться в качестве факторов внешней среды проекта, воздействующих на его эффективность.

Заключая рассмотрение микроэкономического подхода, обратимся к вопросу учета неопределенности. Соответствующие рекомендации, хотя и с разной степенью полноты и детальности, содержатся во многих национальных методиках оценки эффективности транспортных КИП [Economic..., 2004; Developing... Deliverable 1 (эл. ист. инф.); Improved... Deliverable 1 (эл. ист. инф.)]. При этом обычно разделяются понятия риска и неопределенности. Риск связан с отклонением с определенной степенью вероятности значений тех или иных составляющих  $NPV$  от принятых в расчете, тогда как под неопределенностью понимаются отклонения, не имеющие вероятностной природы (или с неизвестным распределением вероятностей).



Анализ риска требует идентификации распределений вероятностей анализируемых параметров и корреляции между ними. После чего могут использоваться хорошо известные вероятностные методы. Одним из наиболее часто рекомендуемых является имитационное моделирование с помощью метода Монте-Карло, позволяющее оценить правдоподобность того, что параметры проекта будут заключены в границах, обеспечивающих его эффективность. Однако очевидно, что использование вероятностных методов выдвигает высокие требования к используемым данным, которые довольно редко могут быть удовлетворены на практике (или же требуют проведения весьма трудоемких исследований). В некоторых странах вместо вероятностного анализа рисков интегральный эффект всех рисков включают в норму дисконтирования, увеличивая ее.

Для учета неопределенности, не имеющей вероятностной природы, используется ряд методов. Довольно распространенным является анализ чувствительности (*sensitivity analysis, side-analysis*). Он состоит в том, чтобы выявить, может ли проект стать неэффективным, если изменить то или иное предположение, принятое в исходном расчете. Его развитием является сценарный анализ: если при анализе чувствительности каждый раз изменяется только одно предположение, то сценарный анализ включает построение нескольких комплексов альтернатив будущих условий. Еще одним приемом является оценка возможных диапазонов изменения составляющих *NPV* и проведение расчетов с крайними величинами этих диапазонов, т.е. для самого неблагоприятного и самого благоприятного случая. Хотя весьма маловероятно, что все величины одновременно примут «худшие» либо «лучшие» значения, такой анализ показывает, в каких границах в принципе может меняться эффективность КИП. Другой прием – нахождение критических значений (*switching values*) ключевых величин, например: нормы дисконтирования, объема инвестиций и т.п. Критическим значением является процентное изменение параметра, при котором *NPV* становится нулевым. Если оно относительно велико, то проект может стать неэффективным лишь при значительном изменении соответствующего параметра, и наоборот, относительно низкое критическое значение говорит о неустойчивости вывода об эффективности проекта.

В наибольшей степени рекомендации западных методик оценки эффективности транспортных КИП, касающиеся неопределенности или (и) риска, концентрируются на вопросе затрат на строительство (соответствующие положения содержатся примерно в 70% национальных методик [*Developing... Deliverable 1, с. 29 (эл. ист. инф.)*]). Одной из главных проблем здесь является «оптимистическое смещение» (*optimism bias*). Его статистические оценки получены, в частности, в работах Б. Флювберга, М. Хольма и С. Була [*Flyvberg и др., 2002, 2005*] на основе сопоставления проектных оценок затрат на строительство и объемов перевозок с фактическими величинами в большом числе реализованных транспортных КИП. Эти исследования показали,

.....

что действительно имеет место систематическое смещение оценок инвестиций в сторону занижения, а объемов перевозок – в сторону завышения (так, превышение первоначальной сметы наблюдается в девяти случаях из десяти). Наиболее часто проблема оптимистического смещения оценок инвестиций решается простым путем – установлением корректирующих коэффициентов (которые могут меняться в зависимости от стадии разработки КИП). Лишь в небольшом числе стран, например Великобритании и Дании, используются более сложные методы. Так, по заказу Министерства транспорта Великобритании были разработаны руководящие указания «Процедуры учета оптимистического смещения в транспортном планировании» [Procedures, 2004], в которых корректирующие коэффициенты основаны на статистическом анализе реализованных проектов. При этом они дифференцированы по типам проектов и зависят от того, какая степень риска (вероятность превышения сметы) сочтена приемлемой. Например, если принята степень риска 20%, то для железнодорожных линий затраты следует увеличить на 57%, при риске 10% – на 68%; для мостов и туннелей эти величины составляют 55 и 83% соответственно [Там же, с. 32].

**Многокритериальный подход.** Чем вызвана необходимость многокритериального подхода? Микроэкономический подход – анализ затрат и результатов – основан на единственной критерии: максимизации общественного благосостояния. И хотя в рамках этого подхода разработан ряд тонких и изощренных методов «монетизации» эффектов, не имеющих денежного выражения, далеко не всегда они могут быть включены таким образом в общую схему анализа затрат и результатов. Кроме того, если проект вызывает заметные «косвенные», макроэкономические эффекты (оцененные, например, с помощью той или иной макроэкономической модели), они должны быть учтены при оценке его эффективности. К тому же конкретный КИП может быть направлен на достижение целей, которые, хотя и связаны в конечном счете с благосостоянием общества, в принципе не могут быть оценены в таких терминах (и, тем более, «монетизированы»). Примерами могут служить: укрепление политического и экономического единства страны, обеспечение доступа к районам нового хозяйственного освоения, усиление обороноспособности страны и др. В таких случаях используется многокритериальный подход, в котором эффективность проекта рассматривается как многомерная (векторная) характеристика.

В мировой практике оценки транспортных КИП многокритериальный подход всегда применяется наряду с анализом затрат и результатов, при этом главный показатель этого анализа (обычно *NPV*) является, как правило, одним из критериев. Хотя при оценке транспортных КИП многокритериальный подход используется довольно широко – примерно в половине стран, охваченных обзорами [Developing... Deliverable 1... (эл. ист. инф.); Economic..., 2004], в случае железнодорожных КИП его применяет только пятая часть этих стран.

По сути, многокритериальный подход не является чем-то единым, это скорее совокупность различных методов многокритериальной оптимизации, весьма разнящихся по странам. Для них пока не существует ни общей теоретической схемы, ни какой-либо единой совокупности принципов анализа (хотя некоторые исследователи считают, что большинство методов представляют собой различные способы выявления и анализа предпочтений лиц, принимающих решения [Facts..., 1999, с. 187]).

Результатом многокритериального анализа может быть синтетический показатель эффективности (как в случае анализа затрат и результатов), позволяющий ранжировать альтернативы либо само ранжирование без какого-либо синтетического показателя. Показатели, характеризующие отдельные аспекты (измерения) эффективности КИП, могут быть кардинальными (числовыми), ординальными (порядковыми) или даже качественными. В последних двух случаях им приписываются каким-либо способом количественные значения. Из-за многообразия возможных критериев относительно них существуют только самые общие рекомендации: четко различать цели и средства, проверять систему критериев на согласованности, избегать пересечения критериев.

В идеале, будь функция полезности лица, принимающего инвестиционное решение, известна, набор характеристик эффективности того или иного варианта проекта (или отдельного проекта из их совокупности) давал бы величину полезности. На практике же для выявления предпочтений используются: диалоги с лицами, принимающими решения; сведения из официальных документов, описывающих цели; опросы экспертов с применением статистических методов; «выявленные предпочтения», основанные на решениях, принятых в сходных случаях в прошлом. Другой стороной является ранжирование самих критериев, т.е. приписывания критериям весов, характеризующих их относительную важность. Они представляют собой «теневые цены» отдельных компонент сложной цели [Improved... Deliverable 1..., с. 24 (эл. ист. инф.)].

Выбор оптимального варианта проекта (или ранжирование проектов и вариантов) в конечном счете основывается на скаляризации векторного критерия. Наиболее часто используются следующие способы:

- максимизация взвешенной суммы компонент векторного показателя эффективности;
- минимизация взвешенной суммы отклонений от принятых «эталонных» величин или максимального отклонения в случае, когда компоненты показателя эффективности нельзя достаточно четко квантифицировать;
- последовательная максимизация упорядоченного вектора эффективности при еще меньшей определенности (например, когда не имеется количественно определенных весов); этот способ состоит в упоря-

дочении компонент вектора эффективности по степени важности отражаемых ими целей, затем ищется множество решений, максимизирующих первую компоненту, в этом множестве – решения, максимизирующие вторую, и т.д. до получения единственного решения.

Один из конкретных примеров практического применения многокритериального подхода является оценка КИП с помощью матрицы степени достижения целей (goals achievement matrix method). Допустим, имеется базовый вариант 0 (отказ от реализации проекта) и ряд вариантов проекта  $\{i\}$ , описываемых набором характеристик  $\{j\}$ , отражающих те или иные частные цели проекта (например:  $NPV$ , рост уровня шума в окрестностях планируемой дороги, изменение – рост или уменьшение – загрязнения окружающей среды, эстетические характеристики, рост объема экспорта и т.д.). Значениям этих характеристик в каждом из вариантов (независимо от того, количественные они или качественные), приписываются некоторые баллы  $s_{ij}$ . Причем они могут быть и отрицательными, что означает ухудшение по сравнению с базовым вариантом; для последнего  $s_{0j} = 0$ . Относительная важность целей (характеристик) задается весами  $w_j$ , сумма которых равна единице. Тогда синтетический показатель эффективности  $i$ -го варианта проекта рассчитывается как  $S_i = \sum_j w_j s_{ij}$ , и выбирается вариант с максимальным значением этого показателя.

Еще один пример – метод планирования баланса интересов (planning balances sheet method) [Lichfield и др., 1975]. Он рассматривается как «ответвление» анализа затрат и результатов, преодолевающее его неспособность учесть различное воздействие проекта на интересы разных групп населения, фирм, правительственных организаций и т.п. Суть метода состоит в том, что воздействие проекта оценивается отдельно по выделенным группам населения и сферам деятельности, которые предположительно затронет проект. Для каждой из них определяются цели и характеризующие их индикаторы. Далее оценивается баланс «приобретений» и «потерь» каждой группы  $j$  при реализации варианта проекта  $i$ , т.е. аналог  $s_{ij}$  в вышеописанном методе. Однако, в отличие от него, взвешивание частных целей принципиально не предусматривается «из-за трудности получения релевантного набора этических суждений от лиц, принимающих решения» [Там же, с. 80]. Но тогда полученные результаты дают только «анатомию» эффектов КИП, не позволяя сопоставить различные альтернативы. Фактически же в практических приложениях этого метода взвешивание все-таки производится, но неявным образом (см., например, кн. [Alexander..., 1978]).

**Макроэкономический подход.** Характерная черта рассмотренного ранее микроэкономического подхода – «локализация» КИП, т.е. анализ в пределах одной отрасли или рынка. Однако, как указывалось ранее, реализа-

ция проекта может оказывать воздействие на экономику за пределами локализованной ее части, например на занятость и загрузку мощностей в смежных отраслях. Это приводит к необходимости оценивать эффективность КИП в контексте экономики страны в целом, учитывая воздействия проекта по всей цепочке секторов экономики. Макроэкономический подход в мировой практике обычно рассматривается как дополняющий анализ затрат и результатов. В рамках последнего – воздействия проекта на другие части экономики трактуются как «косвенные социально-экономические эффекты»; в одном упоминаемом выше обзоре [Developing... Deliverable 5... (эл. ист. инф.)] их рекомендуется оценивать (вне рамок методологии анализа затрат и результатов) с помощью той или иной макроэкономической модели. Вместе с тем на практике макроэкономический подход используется довольно редко (по причинам, которые будут рассмотрены позже).

Наиболее простой формой макроэкономического подхода является оценка вклада КИП в изменение ВВП. Она осуществляется прямым расчетом, без использования каких-либо моделей<sup>1</sup>. Наряду с непосредственным вкладом проекта с помощью мультипликатора дохода (а иногда и акселератора) рассчитывается его косвенный вклад, возникающий за счет роста спроса в цепочке взаимосвязанных отраслей и роста конечного потребления.

Однако обычно для оценки макроэкономического эффекта КИП используется какая-либо экономико-математическая модель. Основные модели можно разделить на три типа:

- модели «затраты–выпуск»,
- имитационные макроэкономические модели,
- модели вычислимого общего равновесия.

Эти типы моделей достаточно хорошо известны, поэтому обсудим их очень бегло. Отметим только, что по своему характеру это модели, предполагающие позитивный анализ, тогда как решение о выборе системы КИП или варианта КИП – это скорее проблематика нормативного анализа. Тем не менее в зарубежной литературе нам не встретилось ни одной работы, в которой макроэкономический подход был бы представлен какой-либо оптимизационной моделью (во всяком случае, для транспортных КИП).

Модель «затраты–выпуск» (ее вариант, включающий только отрасли материального производства, известен как модель межотраслевого баланса) позволяет проследить влияние транспортного КИП по цепочке взаимосвязанных отраслей и изменение конечного потребления, определив общее изменение занятости и изменение ВВП. Для этого в составе секторов,

---

<sup>1</sup> Заметим, что такой подход был принят в действовавшей в 2006–2008 гг. методике Минэкономразвития РФ и Минфина РФ, которая регламентировала оценку эффективности инвестиционных проектов, финансируемых из Инвестиционного фонда РФ [Методика..., 2006]. С 2010 г. действует методика Минрегиона РФ, относящаяся к региональным КИП, которая в основных своих положениях повторяет указанную методику.

представленных в таблице «затраты–выпуск», должен быть выделен транспортный сектор. Рассматриваемый КИП (вариант КИП) представляется изменением параметров соответствующих строки и столбца таблицы. В практике оценки эффективности транспортных КИП они применяются, например, в Италии, где используются региональные таблицы «затраты–выпуск» для определения влияния КИП на экономику страны в разрезе видов деятельности [Developing... Deliverable 1..., с. 67 (эл. ист. инф.)].

Имитационная макроэкономическая модель представляет собой описание взаимосвязей в экономике страны с помощью системы эконометрических уравнений, параметры которых оценены на основе ретроспективных статистических данных. Рассматриваемый КИП или вариант КИП включается в модель путем изменения значений управляемых переменных модели (состав которых определяется детальностью конкретной модели), после чего рассчитываются изменения таких показателей, как общая занятость в экономике, производственные издержки, цены и заработная плата и т.п. Достоинством таких моделей является то, что они могут включать в явном виде динамику (в отличие от статических моделей «затраты–выпуск» и вычислимого общего равновесия), что позволяет проследить развитие эффектов проекта во времени.

Сходные возможности, за исключением учета динамики, представляет модель вычислимого общего равновесия (computable general equilibrium), ее иногда тоже считают имитационной моделью. Такая модель строится на основе функций полезности, в свою очередь, определяющих функции спроса, и производственных функций или функций затрат (естественно, довольно простых), и включает вычислительный алгоритм нахождения общего равновесия. Рассматриваемый КИП (вариант КИП) представляется в модели рядом переменных. Например, после задания инвестиций в транспортную инфраструктуру, приводящих к снижению транспортных издержек, рассчитывается новое равновесие экономики, параметрами которого являются выпуски, затраты ресурсов (включая труд), цены, доходы и т.д. Исходным материалом для разработки модели вычислимого общего равновесия служат таблицы «затраты–выпуск». Разработка моделей такого рода – дело непростое, но вполне осуществимое, в том числе и для России – например, опыт создания одной из таких моделей для России описан в [Rutherford, Paltsev, 1999 (эл. ист. инф.)].

Модели последних двух типов находят в оценке транспортных КИП только sporadicкое применение, в основном теми или иными исследовательскими группами. Так, в ЕС модель вычислимого общего равновесия CGEurope используется для исследований, связанных с европейской транспортной политикой, которые включают анализ некоторых предполагаемых транспортных проектов [Jonkhoff, Rustenberg, 2011]. Еще одним примером является модель SASI («Spatial and socio-economic impacts of transport investments and transport system improvements» – «Пространственные и соци-

ально-экономические эффекты инвестиций в транспорт и развития транспортной системы)), использовавшаяся в нескольких исследовательских проектах под эгидой различных органов ЕС. Это довольно сложная рекурсивная имитационная модель социально-экономического развития регионов Европы, в явном виде включающая географический аспект, в том числе описание транспортной инфраструктуры [Wegener, 2008].

Как отмечалось выше, в мире макроэкономический подход мало применяется при оценке эффективности транспортных КИП. В книге [Facts..., 1999] имеется целая глава, названная «Модели национальной экономики: что они могут дать?». В ее заключении авторы приходят к выводу, что для оценки транспортных проектов адекватным является анализ затрат и результатов, а нужда в макроэкономических моделях возникает редко. Это находится в противоречии с распространенным в отечественной литературе взглядом, что основной экономический эффект инфраструктуры проявляется за ее пределами. Однако дело здесь не в переоценке микроэкономического подхода и недооценке макроэкономического.

Представляется, что главную роль в слабом использовании макроэкономических моделей играют три причины. Во-первых, построение таких моделей – весьма сложная задача, требующая высокой и специфической квалификации. Готовых же моделей в любой стране в лучшем случае немного, и их применение вряд ли возможно без участия специалистов, разработавших модель или регулярно использующих ее для своих исследований. Во-вторых, в макроэкономических моделях транспортный КИП представляется весьма агрегированно, утрачивая многие детали, которые учитываются при анализе затрат и результатов. Как следствие, полученные оценки оказываются очень грубыми.

Но главная причина – в особенностях транспортных КИП, которые реализуются в настоящее время за рубежом. При высокой плотности существующей там транспортной сети эти проекты представляют собой ее совершенствование, т.е. не приводят к принципиальным изменениям сети. При этом проект действительно достаточно хорошо локализуется в пределах транспортной отрасли, оказывая лишь довольно небольшое влияние на остальную часть экономики (которое может быть учтено в рамках анализа затрат и результатов без обращения к макроэкономическим моделям).

В России, скорее всего, то же самое будет иметь место для европейской части страны, где плотность транспортной сети относительно высока. Но для восточных районов России ситуация окажется совершенно иной, поскольку там транспортные КИП, как правило, будут приводить к качественным изменениям имеющейся транспортной сети, нередко самой конфигурации сети. Представляется очевидным, что при превращении Транссибирской магистрали в международный «мост» между континентами, завершении Амуро-Якутской, сооружении Северо-Сибирской, Приполярной, Трансконтинентальной магистралей и по мере возникновения вокруг этих инфра-

структурных «стержней» международных транспортных коридоров, а также «капиллярной» транспортной сети, прямой транспортный эффект для отечественных грузоотправителей и пассажиров будет несравнимо меньше «косвенных» эффектов за счет «ренды географического положения», доступа к новым источникам сырья, ускорения освоения новых районов. И в таких случаях без использования макроэкономического подхода не обойтись.

**Апостериорный анализ эффективности.** Кратко коснемся также апостериорного анализа эффективности, т.е. оценки эффективности КИП на стадии эксплуатации. Его можно рассматривать как одну из областей более широкого направления – оценки результативности (impact evaluation) экономических политик, проектов и программ, терминальных и развивающихся, интенсивно разрабатываемого в последние десятилетия (см., например, [Gentler и др., 2011; Ravallion, 2001; White, 2009]). На практике он довольно регулярно используется международными агентствами для проверки эффективности использования выделяемых ими средств и прекращения программ, оказавшихся неэффективными.

Применительно к КИП оценка результативности состоит в оценке эффектов, полученных в результате реализации проекта, и фактических степеней достижения его целей. Анализ проводится «от противного»: сопоставлением фактического состояния с тем, каким бы оно было, если бы проект не был реализован; при этом выявляются причинно-следственные связи, чтобы оценить только те эффекты, которые действительно обусловлены проектом [Gentler и др., 2011]. В тех странах, где производится апостериорный анализ эффективности транспортных КИП, он выполняет контрольные функции, а также используется для совершенствования методов оценки ожидаемой эффективности КИП. Однако стран, где такой анализ является обязательным, очень немного: это Великобритания, Франция и Япония (можно также упомянуть Италию, где в 2002–2003 гг. был проведен единовременный апостериорный анализ 393 транспортных проектов) [Improved... Deliverable 1... (эл. ист. инф.)]. Тем не менее в целом наблюдается тенденция к расширению использования апостериорного анализа эффективности транспортных КИП, и все чаще выдвигаются рекомендации сделать его проведение обязательным – см., например, [Improved..., 2013, с. 83 (эл. ист. инф.)].

Для России вопрос апостериорного анализа эффективности КИП особенно актуален, поскольку все такие проекты реализуются с многократным превышением первоначальных смет (что касается достигнутых результатов, то сведения о них вообще отсутствуют). Но ни одна из действующих в России методик оценки эффективности инвестиционных проектов об апостериорном анализе даже не упоминает; не известны случаи, когда бы поднимался вопрос о его проведении. Возникает впечатление, что о существовании апостериорного анализа и оценке результативности инвестиционных проектов вообще в России никому и ничего не известно.



**Выводы.** Завершим эту часть главы (п. 7.1) некоторыми выводами, которые носят не только оценочный характер, но и, по замыслу авторов главы, должны сыграть роль связки с другими ее разделами.

При рассмотрении *микроэкономического* подхода к оценке КИП в аспектах теоретическом и прикладном в качестве анализируемых первоисточников выступали только западные разработки. Причина состоит в том, что российские методики в основном компилятивны и являются попытками наложить западные стереотипы на российские реалии. Подобный прием приводит к отрицательной синергии: слабость зарубежных подходов к оценке КИП, объясняемая тем, что там проектов, аналогичных российским, практически нет, накладывается на некритический перенос указанных стереотипов в научные и методические материалы, разработанные в России, где такие КИП имманентны ее политическому и экономическому устройству<sup>1</sup>. Получившаяся «смесь», когда, например, ожидаемая эффективность проекта нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий океан» (ВСТО) оценивается с помощью таких методик, приводит к непредвиденному перманентному росту их затратной компоненты при неопределенности конечных результатов [Кибалов, Кин, 2007].

В ходе исследований возможности использовать *макроэкономический* подход к оценке КИП с помощью семейства моделей ОМММ, который адекватен российским транспортным мегапроектам, нами (в составе коллектива, руководимого Н.И. Сусловым) были получены интересные результаты [Бузулуцков и др., 2008]. Одновременно выяснилось, что, во-первых, макроэкономические полудинамические и детерминистские модели российской экономики типа ОМММ в силу своей высокой агрегированности малочувствительны к попыткам оценить эффективность КИП по методу «с проектом» и «без проекта» [Кибалов, Хуторецкий, 2005]. Во-вторых, модели семейства ОМММ первоначально были созданы для моделирования плановой экономики, которая была хотя и не очень эффективной, но достаточно стационарной. В нынешней российской экономике, которая является нестационарной и, следовательно, фактор неопределенности в ней играет существенную, если не решающую роль, детерминистский характер ОМММ оказался неадекватным характеру реальных хозяйственных процессов, которые модель призвана отражать. Выявился также научно-исследовательский характер модели в целом, что при всех ее общеизвестных достоинствах затрудняет использование модельного аппарата в регулярных расчетах сравнительной ожидаемой эффективности КИП и установлении их приоритетности.

---

<sup>1</sup> Примерами могут служить проекты трубопроводной системы «Восточная Сибирь – Тихий океан» (ВСТО), Олимпиады-2014 в Сочи, проекты реконструкции транспортной сети Приморья к саммиту АТЭС-2012, система проектов реконструкции транспортной сети Европейской России к чемпионату мира по футболу 2018 г.

Подчеркнем, что наш опыт использования ОМММ при оценке эффективности КИП носит ограниченный характер, а выводы – предварительный. Параллельно аналогичной проблематикой занимаются и другие исследователи, и полученные ими результаты [Гранберг и др., 2010] внушают оптимизм относительно перспектив использования глобальных моделей экономики при оценке ожидаемой эффективности КИП.

Учитывая сказанное, дальнейшее содержание главы посвящено изложению нашей методики оценки ожидаемой эффективности КИП. Ее основой служит *микроэкономический* подход («экономизированная» версия анализа затрат и результатов), интегрированный с методологией системного анализа, что дает основание отнести наш подход к многокритериальному. Это не означает, что нами отвергается *макроэкономический* подход, его элементы учитываются и при нашей трактовке микроподхода, например в модельных конструкциях типа дерева целей проекта. Что же касается макроэкономических моделей вообще и ОМММ в частности, то в интересующем нас аспекте полученный к настоящему времени собственный опыт мы намерены углублять с учетом мирового контекста и новых возможностей информационной техники, а полученные результаты – публиковать по мере их накопления и осмысливания.

## 7.2. ОЦЕНКА КИП: МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДИКА

**Концепция оценки.** Главная особенность развиваемого в дальнейшем подхода к оценке КИП состоит в том, что такие проекты представляются и анализируются как *сложные системы*. Это отличает наш подход от предлагаемого в общепринятых методических материалах (российских и зарубежных) и ряде публикаций, например, [Методические рекомендации..., 2000; Виленский и др., 2001; Никонова, 1990; Руководство..., 2008 (эл. ист. инф.); Волков и др. (эл. ист. инф.)], в которых сложную проблему оценки КИП предлагают решать относительно простыми способами, более или менее пригодными для оценки маломасштабных проектов. Игнорирование сложности проблемы может приводить к неверным оценкам и ошибочным инвестиционным решениям.

Учет сложности проблемы означает, прежде всего, что КИП должен рассматриваться как многоаспектный (многосторонний), поскольку он:

1) является технико-технологической системой, создаваемой для трансформации ресурсов в продукты и услуги, по качеству и объемам соответствующие целевой установке проекта;

2) есть экономическая система, которая должна обеспечивать рентабельную работу технико-технологической системы по всему жизненному циклу проекта;

3) есть социальная система, которая должна удовлетворять потребности создающих и эксплуатирующих ее работников, менеджеров и прочих участников проекта;

4) является технико-технологической системой, создающей техногенную нагрузку на природную среду, порождая экологические эффекты;

5) 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 КИП, 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 варианта КИП) следует говорить не об оптимальности, а о целесообразности (решения, варианта, альтернативы). Термин «целесообразное решение» по содержанию совпадает с введенным М. Вебером [Вебер, 1990] термином «целерациональное решение»: 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 слабо структурированы, 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 КИП, порожденную 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 оправданно 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 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 и работоспособные модели партнерства государства и бизнеса при реализации транспортных КИП, они будут рассмотрены в конце главы.

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

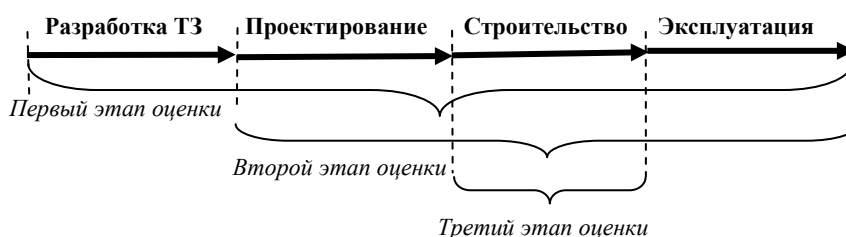


Рис. 7.3. Жизненный цикл КИП и этапы оценки ожидаемой эффективности

На начальных этапах (рис. 7.3), когда речь идет о проектном замысле и намерениях потенциальных инвесторов, доступная информация является стратегической, преимущественно качественной, количественная информация опирается на сведения о проектах-аналогах. Для «снятия» присущей этому этапу *радикальной неопределенности* применяются соответствующие инструменты системного анализа: дерево целей КИП, модели и критерии стратегических игр, экспертные технологии.

На этапах проектирования и реализации (строительства и эксплуатации) проекта, когда может быть получена релевантная количественная информация, появляется возможность применения оптимизационных моделей. Задача обычно осложняется наличием многих критериев оценки конкурирующих альтернатив. На этих этапах сохраняется неопределенность (веро-

ятностная либо интервальная), учет которой требует соответствующих подходов (критерий 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 сквозном числовом примере.

**Общая (структурная) модель оценки и выбора инвестиционной альтернативы.** Приведенная ниже структурная модель [Кибалов и др., 2008; Розен, 2008; Вилкас, Майминас, 1981] отражает проблемную ситуацию, возникающую при оценке вариантов КИП с целью выбора предпочтительной проектной альтернативы.

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 управляемой переменной, состояния внешней среды (сценарии ее развития) являются значениями неуправляемой переменной.

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 оп-

ределенный 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 целей 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.

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 об ее распределении. Эта информация может быть полной (функция распределения) или частичной (математическое ожидание, дисперсия, вероятности некоторых событий и пр.).

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 структура обеспечивает оценку этого результата [Розен, 2002]. 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 подхода «затраты–результаты» 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. 7.4.

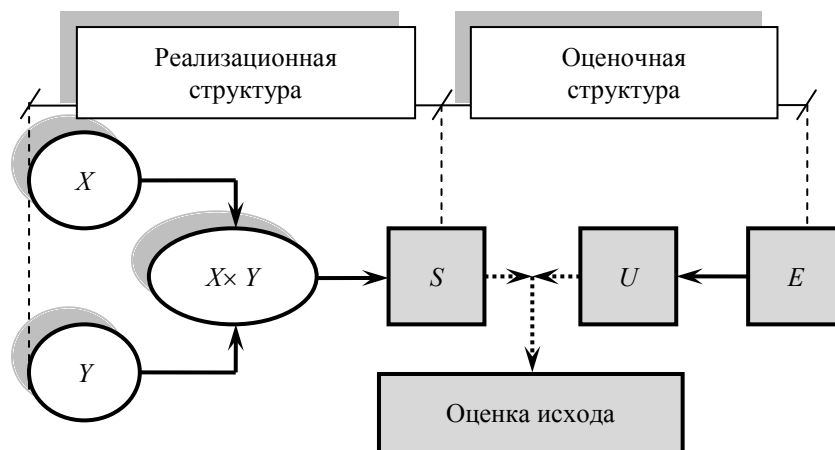


Рис. 7.4. Структурная модель оценки КИП

Отметим, что процессы проектирования (разработки) альтернативных вариантов КИП (множество  $X$ ) и сценариев развития его внешней среды (множество  $Y$ ) не являются предметом рассмотрения в данной главе, 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 некватифицируемой цели  $e_k$  значения  $u_k(x, y)$  приходится выявлять с помощью экспертных процедур. В таком случае именно процедура сбора и обработки экспертной информации является описанием оценочной функции. Применяемая нами процедура вычисления  $u_k(x, y)$  использует экспертные упорядочения пар  $(x, y)$  по степени достижения цели  $e_k$  (см. след. раздел, п. 7.2), 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 является 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 удобней применять стандартную процедуру, восходящую к методике PATTERN (см., например, [Макаров и др., 1980]). 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  $q_{kj}^i$ , который оценивает вклад цели  $A_{i+1}^k$  в достижение цели  $A_i^j$ . Должны выполняться соотношения:

$$q_{kj}^i \geq 0 \text{ при } 0 \leq i < m, 1 \leq j \leq n(i), 1 \leq k \leq n(i+1); \quad (7.2)$$

$$\sum_{k=1}^{n(i+1)} q_{kj}^i = 1 \text{ при } 0 \leq i < m, 1 \leq j \leq n(i). \quad (7.3)$$



Последнее соотношение 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, а всех целей уровня  $i + 1$ .

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

$$p_1^0 = 1, p_k^{i+1} = \sum_{j=1}^{n(i)} q_{kj}^i p_j^i \text{ при } 1 \leq k \leq n(i+1). \quad (7.4)$$

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 КОВ для целей из множества  $E$  должны удовлетворять условиям

$$w_k \geq 0 \text{ для всех } k \text{ и } \sum_k w_k = 1. \quad (7.5)$$

Для КОВ, определенных с помощью описанной выше методики, условия (7.5) выполняются по построению. При непосредственном экспертном оценивании КОВ выполнение условий (7.5) должно быть обеспечено в процессе сбора и обработки экспертной информации.

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

$$f(x, y) = \sum_k w_k u_k(x, y). \quad (7.6)$$

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, КОВ целей соизмеряют разнокачественные частные критерии и определяют скалярный интегральный критерий качества (7.5). Этот критерий позволяет сравнивать конкурирующие альтернативы КИП при фиксированном сценарии  $y$ .

Из  $0 \leq u_k(x, y) \leq 1$  и (7.4) 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 (ущербы) для рассматриваемых вариантов проекта одинаковы. Более сложен случай, когда проекты отличаются уровнями затрат и результатов.

Если затраты для сравниваемых проектных альтернатив (или вариантов проекта) различны, то возникает проблема соизмерения затрат и результатов, описанных вектором «затраты–результаты». 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 результаты несоизмеримы (разнокачественны), 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» [Шубик, 1973]. 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 предварительно 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*  $\mathbf{A} = (u_{ij})$  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

[Кибалов и др., 2007]. 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  $\lambda \in [0, 1]$ :

$$i^* \in \text{Arg max}_i [\lambda \min_j u_{ij} + (1 - \lambda) \max_j u_{ij}]. \quad (7.7)$$

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

2. Правило Вальда:

$$i^* \in \text{Arg max}_i (\min_j u_{ij}). \quad (7.8)$$

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»:

$$i^* \in \text{Arg max}_i (\max_j u_{ij}). \quad (7.9)$$

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

4. Правило Сэвиджа:

$$i^* \in \text{Arg min}_i (\max_j c_{ij}), \text{ где } c_{ij} = \max_k u_{kj} - u_{ij}. \quad (7.10)$$

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:

$$i^* \in \text{Arg max}_i (\sum_j p_j u_{ij}), \quad (7.11)$$

где  $p_j$  – оценки вероятностей сценариев, удовлетворяющие условиям

$$p_j \geq 0, \sum_j p_j = 1. \quad (7.12)$$

Условия (7.12) требуют, 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:

$$i^* \in \text{Arg max}_i \frac{1}{n} \sum_j u_{ij} = \text{Arg max}_i \sum_j u_{ij}. \quad (7.13)$$

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 они равновероятны.

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 описанного 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 работах [Кибалов и др., 2008; Белкин, Левин, 1990].

Мы считаем, что во всех указанных случаях непосредственное количественное оценивание с соблюдением, как правило, дополнительных ограничений типа (7.3) и (7.12) 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 матрицу  $\mathbf{S} = (s_{ij})$ . По терминологии работы [Белкин, Левин, 1990], это матрица парных сравнений в степенной калибровке.

Известный метод обработки матрицы парных сравнений [Хуторецкий, 1994; Саати, 2010] 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. Этот метод реализован специальной программой, разработанной А.Б. Хуторецким.

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 (7.3) главный собственный вектор матрицы  $\mathbf{S}$  нужно нормировать делением на сумму его координат. Из (7.12) 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  $m \times n$ . 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 1. 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).

### 7.3. ОЦЕНКА ВАРИАНТОВ ТРАНСПОРТНОГО КИП НА ПЕРВОМ ЭТАПЕ (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 островом Русский и городом Владивосток (далее – проект А). 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 саммита АТЭС–2012 во Владивостоке и строительстве на о. Русском ключевых объектов, обеспечивающих проведение саммита в соответствии с мировыми стандартами, проект А приобрел характер федерального. Он явился частью масштабных преобразований транспортной инфраструктуры Приморского края, которые должны были обеспечить мероприятия саммита АТЭС–2012. Финансирование строительства осуществлялось 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»<sup>1</sup>. Создаваемая в рамках проекта А 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  $x_1$ ,  $x_2$  и  $x_3$  соответственно.

**Структуризация системы целей проекта.** Из приведенного выше описания проекта А ясен его многоцелевой характер. Действительно, по замыслу разработчиков реализация проекта во взаимосвязи с другими инфраструктурными проектами Приморья и 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 А будет способствовать существенному улучшению качества жизни населения Владивостока и всего Приморского края, даст импульс устойчивому развитию территории (*цель социальная*). Наконец, проект позволит превратить Владивосток в центр делового, политического и инновационного сотрудничества на востоке страны (*цель экономическая*).

---

<sup>1</sup> Известия. – 2010. – 17 октября.

Указанные цели образуют систему, мы будем считать их подцелями *общественной цели* проекта А, которая, в свою очередь, является одной из двух подцелей генеральной цели проекта. Второй подцелью генеральной цели будем считать *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 была выбрана для реализации альтернатива  $x_1$  (мост).



Рис. 7.5. Дерево целей проекта А

Перечисленные выше подцели общественной цели не имеют адекватной денежной меры. Поэтому для дальнейшей структуризации мы использовали полуформальную методику построения дерева целей. Неформальным элементом методики является участие экспертов на всех этапах построения дерева целей. Формальными элементами являются правила, которыми должны руководствоваться эксперты, процедуры выявления коллективного мнения и способы обработки экспертной информации [Шубик, 1973].

Учитывая дефицит релевантной информации, что является особенностью предпроектного этапа, и уникальность проекта, не будем подвергать декомпозиции коммерческую цель. В качестве показателя (критерия), оценивающего степень достижения этой цели, используем показатель «период окупаемости проекта», полагая, 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, как описано в п. 7.2. Как и для других целей, мы считали, что максимальное (по всем исходам) значение координаты главного собственного вектора матрицы парных сравнений соответствует полному достижению коммерческой цели, и измеряли степени ее достижения во всех исходах в долях от этого максимального значения, равного 1.

После проведения с экспертами процедуры «мозгового штурма» структура дерева целей проекта получила вид, представленный на рис. 7.5. В критериальный срез дерева целей вошли шесть подцелей общественной цели проекта и коммерческая цель (выделены на рисунке серым цветом).

**Оценивание коэффициентов взаимной полезности и расчет коэффициентов относительной важности.** На рис. 7.5 целям присвоены традиционные иерархические коды. Соответствие между этими кодами и обозначениями целей, введенными в п. 7.2, устанавливает табл. 7.2.

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.

Таблица 7.2

Уровни, коды и обозначения целей

Уровень ( <i>i</i> )	0	1			2			3					
Номер цели внутри уровня ( <i>j</i> )	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	$A_0^1$	$A_1^1$	$A_1^2$	$A_2^1$	$A_2^2$	$A_2^3$	$A_3^1$	$A_3^2$	$A_3^3$	$A_3^4$	$A_3^5$	$A_3^6$	



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 численные значения соответствующих коэффициентов относительной важности ( $q_{11}^0$ ,  $q_{21}^0$  и  $q_{21}^0$  в обозначениях п. 7.2), а, учитывая формулу (7.4), 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 в п. 7.2, были получены коэффициенты взаимной полезности, указанные в табл. 7.3.

Таблица 7.3

**Коэффициенты взаимной полезности для целей второго и третьего уровней**

Уровень	1			2					
Цель	$A_1^1$			$A_2^1$	$A_2^2$		$A_2^3$		
Подцель	$A_2^1$	$A_2^2$	$A_2^3$	$A_3^1$	$A_3^2$	$A_3^3$	$A_3^4$	$A_3^5$	$A_3^6$
Коэффициент взаимной полезности	0,5	0,3	0,2	0,6	0,4	0,4	0,6	0,5	0,5

Теперь по формуле (7.4) можем найти коэффициенты относительной важности для целей критериального среза (табл. 7.4).

Таблица 7.4

**Коэффициенты относительной важности для целей критериального среза при неопределенном  $\varphi$**

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
Коэффициент относительной важности	$0,3\varphi$	$0,2\varphi$	$0,12\varphi$	$0,18\varphi$	$0,1\varphi$	$0,1\varphi$	$1-\varphi$

**Построение и анализ оценочной матрицы.** Были сформулированы и предъявлены экспертам три сценария развития внешней среды проекта: оптимистический, наиболее вероятный и пессимистический. Обозначим их  $y_1$ ,  $y_2$  и  $y_3$  соответственно. В сочетании с тремя альтернативами (мост, тоннель и паром), которые мы обозначили  $x_1$ ,  $x_2$  и  $x_3$  соответственно, они порождают девять исходов  $(x_i, y_j)$ . Элементами оценочной матрицы, в соответствии с (7.6) и ниже приводимой формулой, являются числа:

$$u_{ij} = f(x_i, y_j) = \sum_k w_k u_k(x_i, y_j), \tag{7.14}$$

где  $w_k$  – коэффициент относительной важности цели критериального среза с номером  $k$  (см. табл.7.3),  $u_k(x_i, y_j)$  – 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 в разделе 7.4. Степень достижения коммерческой цели ( $k = 7$ ) оценивалась с помощью показателя «срок окупаемости», как описано в п. 7.2.

Таблица 7.5

**Оценки степеней достижения целей критериального среза  
для каждого исхода**

Альтернатива	Номер цели критериального среза						
	1	2	3	4	5	6	7
Сценарий $y_1$ (оптимистический)							
$x_1$ (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
Сценарий $y_2$ (наиболее вероятный)							
$x_1$ (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
Сценарий $y_3$ (пессимистический)							
$x_1$ (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

В табл. 7.5 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, была разработана и осуществлена следующая процедура.

Каждой подцели критериального среза из табл. 7.5 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, то число упорядочиваемых объектов равно девяти.

Далее, как и в предыдущем случае, экспертные упорядочения оценивались с использованием методики, описанной в п. 7.2. Изложим эту процедуру в деталях.

Обращаясь к табл. 7.5, сформируем и пронумеруем 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)>.

Таблица 7.6

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

По экспертным ранжированиям пар I–IX по степени достижения каждой цели критериального среза была построена матрица **S**, найден вектор относительных оценок, и результаты пронормированы, как описано в п. 7.2. Полученные оценки степеней достижения целей критериального среза при всех исходах указаны в табл. 7.6. 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 в табл. 7.4 значение  $\varphi = 0,65$ , получаем коэффициенты относительной важности подцелей критериального среза, указанные в табл. 7.7.

Таблица 7.7

**Коэффициенты относительной важности подцелей  
критериального среза при  $\varphi = 0,65$**

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

Наконец, умножив матрицу из табл. 7.6 на столбец коэффициентов относительной важности, приведенных в табл. 7.7, найдем степени достижения генеральной цели при всех исходах (табл. 7.8).

Таблица 7.8

**Степени достижения генеральной цели**

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

Учитывая нумерацию исходов, составим оценочную матрицу  $A = (u_{ij})$ , которая выделена в табл. 7.9.

Таблица 7.9

**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		

Сразу видно, что альтернатива  $x_2$  (тоннель) доминирует альтернативу  $x_1$  (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  $\lambda$  не превышает 0,79. Осторожный инвестор, у которого  $\lambda > 0,79$ , предпочел бы паром.

При крайних значениях  $\lambda$  правило Гурвица превращается в правило Вальда ( $\lambda = 1$ ) и правило «крайнего оптимизма» ( $\lambda = 0$ ). Из предшествующе-

го анализа ясно, что предпочтительной альтернативой по правилу Вальда является паром, а по правилу «крайнего оптимизма» – тоннель.

Используя последнюю строку табл. 7.9, построим матрицу сожалений (выделена в табл. 7.10).

Таблица 7.10

**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

Видим, что по правилу Сэвиджа предпочтительной является альтернатива  $x_2$  (тоннель).

Итак, результаты анализа однозначны только в отношении альтернативы  $x_1$ : сооружение моста неэффективно. Правило Гурвица, в отличие от правила Сэвиджа, имеет аксиоматическое обоснование [Виленский и др., 2001], однако нет обоснованных способов идентификации параметра  $\lambda$ . 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 свою систему ценностей [Мартино, 1977] (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, для анализируемого нами проекта реализовался именно такой случай.

В реальности 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  $\varphi$ , значения которого указывают на относительную важность целей *общественной* (0,65) и *коммерческой* (0,35) для достижения генеральной цели проекта. Мы предполагаем, что для каждого критерия принятия решений можно выяснить, при каких значениях параметра  $\varphi$  строительство моста становится предпочтительным по этому критерию. Это позволило бы расчетным путем выявить (хотя бы частично) систему приоритетов, при кото-

рой строительство моста оказывается предпочтительней других вариантов реализации проекта.

Следует заметить, что приведенные экспертные ранги на этапе оценивания были получены от неангажированных экспертов. Для того чтобы представляемая методика определения целерационального проекта имела не только научное, но и практическое значение, авторами был проведен экспертный опрос (далее – второй экспертный опрос) ангажированных специалистов-мостовиков.

Таблица 7.11

**Коэффициенты взаимной полезности для целей второго и третьего уровней**

Уровень	2			3					
Цель	$A_1^1$			$A_2^1$		$A_2^2$		$A_2^3$	
Подцель	$A_2^1$	$A_2^2$	$A_2^3$	$A_3^1$	$A_3^2$	$A_3^3$	$A_3^4$	$A_3^5$	$A_3^6$
Коэффициент взаимной полезности	0,33	0,41	0,26	0,58	0,42	0,17	0,83	0,58	0,42

Таблица 7.12

**Коэффициенты относительной важности для целей критериального среза**

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
Коэффициент относительной важности	0,19	0,14	0,10	0,31	0,15	0,11	0,01

Таблица 7.13

**Оценочная матрица**

Стратегии	Сценарии				
	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$\min_j u_{ij}$	$\max_j u_{ij}$
$x_1$	0,967	1,000	0,456	0,456	1,000
$x_2$	0,615	0,279	0,164	0,164	0,615
$x_3$	0,016	0,029	0,969	0,016	0,969
$\max_i u_{ij}$	0,967	1,000	0,969		

Приведем лишь основной результат второго экспертного опроса. По аналогии с табл. 7.3 была составлена табл. 7.11. Напомним, что при первом экспертном опросе мы приняли значимость целей первого уровня относительно коэффициента  $\varphi$  как 0,65 и 0,35. Однако на данном этапе все эксперты единогласно определили значимость коммерческой цели равной нулю.

Иначе говоря, ангажированные специалисты готовы не учитывать финансовые выгоды от проекта ввиду того, что их значимость, по мнению экспертов, несравнима с общественной полезностью проектируемых транспортных сооружений. Следуя формуле (7.4), можно утверждать, что данный факт существенным образом влияет на предпочтительность проектов, что подтверждается расчетами (табл. 7.12).

По аналогии с табл. 7.9 сформируем результирующую оценочную матрицу для второго экспертного опроса (табл. 7.13). Отметим, что альтернатива  $x_1$  (мост) доминирует во всех сценариях, кроме пессимистического. Проводя критериальную аналитику матрицы, получаем, что альтернатива  $x_1$  (мост) является предпочтительной по любому из используемых нами правил (в том числе по критерию Гурвица с любым значением  $\lambda$ ). Иначе говоря, выбор ангажированных экспертов полностью совпал с тем, который приняли федеральные специалисты, принимавшие проектное решение по строительству моста на о. Русский.

Также отметим значения коэффициентов конкордации, отражающих согласованность экспертных суждений. Для первого этапа экспертизы коэффициенты конкордации имеют высокие значения, в то время как для второго этапа в отдельных случаях они находятся на нижней допустимой границе согласованности. Это свидетельствует о том, что у экспертов, работавших в данном туре экспертизы, индивидуальные суждения о приоритетности альтернатив существенно расходятся, что лишний раз подчеркивает сложность проблемы и неоднозначность принимаемого решения.

На этом завершается первый этап оценки стратегических альтернатив проекта А. Далее, на втором этапе оценки (см. рис. 7.4) мы будем исходить из фактически принятого решения о сооружении моста через пролив Босфор Восточный и оценивать альтернативные варианты реализации этого инвестиционного решения.

#### 7.4. ОЦЕНКА ВАРИАНТОВ ТРАНСПОРТНОГО КИП НА ВТОРОМ ЭТАПЕ (ЧИСЛОВОЙ ПРИМЕР)<sup>1</sup>

**Постановка проблемы оценки альтернатив проекта *Мост*.** Любой проект моста «остров Русский – материк» технически чрезвычайно сложен. Это крупнейший мост, который строится через морскую акваторию и перекрывает водное пространство длиной 1,6 км, рекордный в мировой практике мостостроения. Строительными нормами и правилами такой мост определяется как «уникальный». При его проектировании необходимо учесть ряд серьезных факторов, продиктованных условиями судоходства, сложнейшими геологическими, климатическими и сейсмическими условиями региона. Работа над проектом требует особого подхода к проведению комплекса специ-

---

<sup>1</sup> Авторы благодарят профессора Сибирского государственного университета путей сообщения А.Е. Бахтина, предоставившего данные для числовых расчетов.

альных исследований, изысканий, сбора необходимых исходных данных, разработки специальных технических условий с учетом накопленных научных теоретических и практических знаний в области отечественного и мирового опыта мостостроения [Егоров, 2009].

Далее мы проанализируем альтернативные варианты проекта *Мост: Мост вантовый* и *Мост подвесной*. Принимая во внимание технические особенности технологии сооружения указанных мостов, влияющие на уровень рисков возникновения аварийных ситуаций в ходе монтажных работ, внимание концентрируется на экономических характеристиках альтернатив и выяснении экономических преимуществ одной из них с помощью модели денежного потока сравниваемых проектов. Эта сильно агрегированная стоимостная модель, в отличие от рассмотренной на первом этапе статической модели сооружения и эксплуатации моста (наиболее предпочтительной стратегической альтернативы), является динамической и отражает конфигурацию притоков и оттоков денежных средств в течение жизненного цикла проекта в поквартальном разрезе.

Прежде всего следует указать, что для краткости везде в предыдущем изложении под термином *Мост* подразумевался мостовой переход, понимаемый как комплекс сооружений, возводимых при устройстве автомагистрали над проливом Босфор Восточный для соединения материковой части г. Владивосток и о. Русский. В состав мостового перехода входят: собственно мост, насыпи подходов к нему, регуляционные и берегоукрепительные сооружения, предотвращающие размыв берегов и насыпей подходов. Мы исходили из того, что капитальные затраты по альтернативам, исключая сооружение собственно мостов, одинаковы.

При сравнительной оценке альтернатив с помощью модели денежного потока предполагалось, что проекты *Мост вантовый* и *Мост подвесной* различаются только капитальными затратами на их сооружение в период строительства. Доходы и расходы всех видов в эксплуатационном периоде и продолжительность этого периода принимались одинаковыми для обоих мостов.

Мы отталкиваемся от стандартной модели денежного потока, где в качестве критерия оценки предпочтительности сравниваемых проектов выступал показатель чистого дисконтированного дохода (NPV):

$$NPV = -\sum_{t=1}^n \frac{I_t}{(1+r)^t} + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t}, \quad (7.15)$$

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

В рамках сформулированных предпосылок стандартная модель модифицируется следующим образом. В силу принятых предпосылок вторые сла-



гаемые в формуле (7.15) – дисконтированные суммы поступлений денежных средств (с плюсом и минусом) за период эксплуатации – для сравниваемых проектов равны между собой. Тогда предпочтительным является проект, обеспечивающий минимум первого слагаемого, т.е. минимум капитальных затрат на сооружение того или иного варианта моста, приведенных к кварталу начала строительства по ставке  $r = r'/4$  (где  $r'$  – годовая норма дисконтирования), что эквивалентно максимизации  $NPV$  за жизненный цикл проекта. Дальнейшее изложение методики оценки сравнительной эффективности Моста вантового и Моста подвесного опирается на данную модификацию стандартной модели.

Для учета фактора неопределенности (риска) в стандартных моделях обычно применяется вероятностный подход. Мы же, исходя из уникальности альтернатив, учитываем фактор неопределенности при оценке ожидаемой эффективности сравниваемых проектов с помощью теории нечетких множеств.

Как уже было указано выше, любой КИП находится под воздействием ряда эндогенных и экзогенных факторов, порождающих радикальную неопределенность. Вследствие этого применение методов оценки, основанных на статистике, становится невозможным, и мы обращаемся к экспертному анализу. При этом подразумевается, что поведение внешней среды проекта, по сути, не случайно и подчиняется некоторому закону, который невозможно выразить математически (ввиду сложности порождаемой системы либо невозможности квантификации информации). Однако предполагаем, что привлекаемый к оценке проблемы эксперт оперирует обозначенным законом.

Наряду с методом экспертного анализа мы можем прийти к соглашению о некотором разбросе ключевых параметров этого закона и, как следствие, его формальном представлении. В результате этого порождается система, являющаяся синтезом классической теории вероятностей (количественные значения переменных) и лингвистических суждений (качественные значения переменных) – теория нечетких множеств. Преимуществом применения такого подхода является возможность одновременно оперировать как количественной, так и качественной информацией (в том числе экспертными суждениями).

Это является немаловажным фактором, поскольку оценивание экономической эффективности проектов посредством только экспертного анализа порождает весьма субъективные суждения. Подкрепление таких суждений количественной информацией выведет оценку КИП на новый уровень, по нашему мнению, значительно увеличивающий доверие лица, принимающего решение (ЛПР), к исследуемым в данном разделе методам. К тому же применение теории нечетких множеств также позволяет выражать (как качественно, так и количественно) степень неуверенности ЛПР в принимаемом решении, что будет показано в конце главы.

Основы теории нечетких множеств изложены в пионерной работе Л. Заде [Заде, 1976], а также освещены в публикациях отечественных авторов [Орловский, 1981; Гранберг, Суспицын, 1988; Беспалов, Шипилина, 2010]. Операции с нечеткими множествами применительно к финансовому анализу инвестиционных проектов описаны А.О. Недосекиным [Недосекин, 2002, 2003(а,б)]. Наша версия использования идей указанных работ для рассматриваемого случая состоит в следующем.

Рассмотрим множества переменных, характеризующих КИП в модели принятия инвестиционного решения, в контексте нечетко-множественного описания применительно к модифицированной постановке задачи (7.15):

$X$  – обычное («четкое») множество допустимых альтернатив, в примере рассматриваются две фиксированные альтернативы: Мост подвесной и Мост вантовый;

$U$  – обычное множество критериев оценки исходов, в нашем случае используется только один критерий: минимум капитальных затрат;

$E$  – обычное множество целей КИП;

$Y$  – нечеткое множество возможных состояний (сценариев развития) внешней среды проекта, данное множество включает в себя комплекс всех возможных изменений экзогенных факторов, таких как политическая и экономическая ситуации, налоговая политика, колебания цен, изменения ставки дисконтирования и т.д.;

$S$  – нечеткое множество возможных исходов, нечеткость данного множества порождается его определением:  $F: X \times Y \rightarrow S$ .

Следуя подходу Л. Заде [Заде, 1976], можно утверждать, что любое взаимодействие с участием нечетких множеств не может представлять четкий результат. Иными словами, результат такого взаимодействия всегда будет нечетким.

**Процедура решения.** В рассмотренном ранее дереве целей, второй уровень представлен общественной и коммерческой целями. Памятуя, что степень достижения общественной цели инвариантна в обеих альтернативах, дальнейшие процедуры их оценки ориентированы на максимизацию степени достижения коммерческой цели, т. е. на минимизацию затрат на втором этапе (см. рис. 7.3).

Таким образом, интерпретация реализационной структуры  $\langle X, Y, S, F \rangle$  принимает вид: при взаимодействии ( $F$ ) конкретно определенной альтернативы ( $X$ ) с нечетким состоянием внешней среды ( $Y$ ) порождается нечеткий исход ( $S$ ). Оценочная структура  $\langle U, E \rangle$  остается такой же, как в случае работы с экспертными системами [Бахтин, Кибалов, 2011], ввиду нецелесообразности повышения сложности модели.

Ожидаемые (недисконтированные) инвестиции проекта в варианте Мост вантовый во временной развертке отображены в табл. 7.14, в варианте Мост подвесной – в табл. 7.15. Графически эпора капитальных затрат изображена на рис. 7.6.

Таблица 7.14

**Расчетные (недисконтированные) капитальные затраты проекта  
Мост вантовый, млн руб.**

Год	Квартал			
	1	2	3	4
2009	-335,61	-313,18	-220,12	-205,55
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
Суммарно	-3215,00			

Таблица 7.15

**Расчетные (недисконтированные) капитальные затраты проекта  
Мост подвесной, млн руб.**

Год	Квартал			
	1	2	3	4
2009	-108,50	-156,87	-111,07	-188,79
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	-	-
Суммарно	-3867,00			

Приведение капитальных затрат за период строительства к первому кварталу 2009 г. позволило исчислить их дисконтированные суммы для каждого проекта по формуле (7.15) при квартальной ставке дисконтирования  $r = 0,12/4$ . 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 *Мост вантовый*, но без учета риска, который возникает из-за возможного обрушения моста как следствия принятой схемы его монтажа<sup>1</sup>. Собственно, для выяснения, останется ли *Мост вантовый* предпочтительнее *Моста подвесного* при должном учете указанного риска, и применяется инструментарий нечетких множеств в настоящем примере.

<sup>1</sup> Риск обрушения при реализации альтернативы *Мост вантовый* связан с особенностью технологии его строительства: при монтаже будет необходимо обеспечить устойчивость в горизонтальной плоскости двух консолей длиной более 0,5 км, надвигаемых навстречу друг другу с береговых пилонов на шестисотметровых вантах и стыкуемых на высоте 70 м над проливом. Возможные порывы ветра в районе стыковки достигают 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.

Для анализа эффективности проектов по модифицированной формуле (7.15) в терминах нечетких 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 расходов. Поэтому для описания возможных объемов инвестиций ниже применены треугольные нечеткие числа.

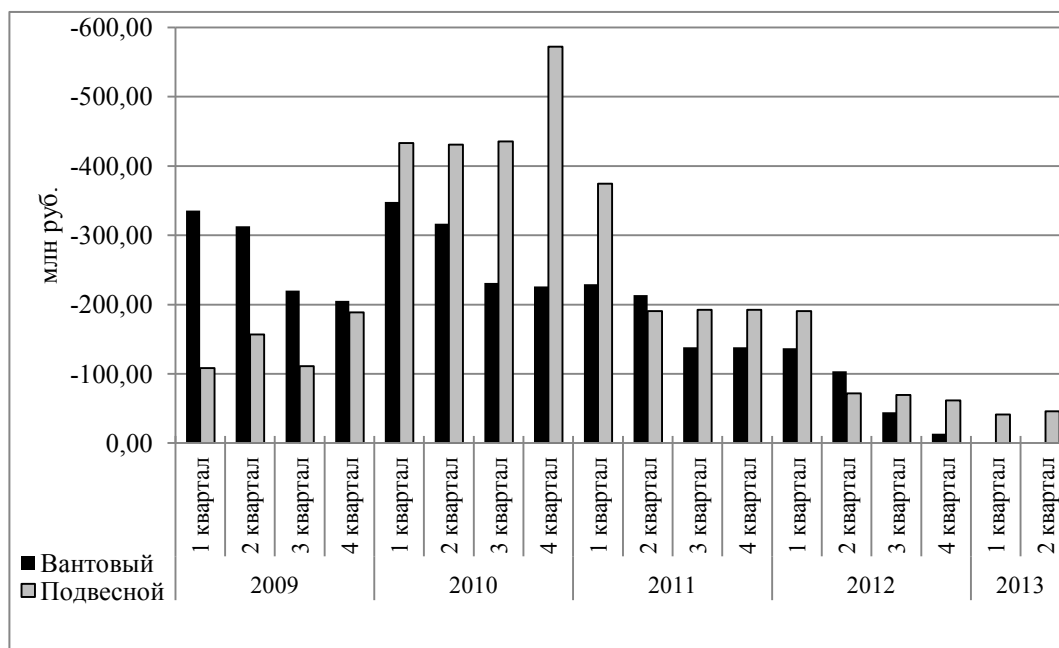


Рис. 7.6. Эпюра ожидаемых (недисконтированных) затрат по вариантам проекта моста на этапе строительства

Приведем некоторые общие определения, касающиеся понятия «треугольное число», в увязке с нашим числовым примером. Рассмотрим изображенное на рис. 7.7 треугольное число на плоскости  $[X; \mu(x)]$ , где:  $X$  – нормализованное представление денежного потока; увеличение эффективности (полезности) показателя принимается слева направо, т.е. от нуля к единице (применительно к анализу затрат двух проектов – наименее затратный из них будет находиться правее);  $\mu(x)$  – степень принадлежности элемента  $x$  нечеткому множеству, представляющая собой число от 0 до 1; значение 0 означает, что  $x$  не принадлежит данному множеству, значение 1 – что  $x$  заведомо принадлежит множеству, значения между 0 и 1 характеризуют степень уверенности в том, что  $x$  принадлежит данному множеству.

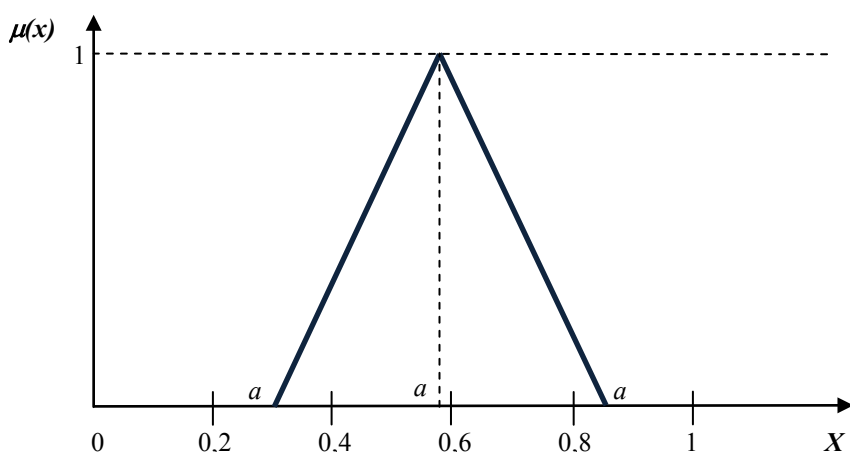


Рис. 7.7. Пример треугольного нечеткого числа

В целях компактной записи треугольные функции принадлежности  $\mu(x)$  описываются треугольными числами  $\beta(a_1, a_2, a_3)$  [Недосекин, 2002], где  $a_1, a_3$  – абсциссы нижнего основания,  $a_2$  – абсцисса вершины треугольника (см. рис. 7.7).

Приведенные выше затраты отображают ожидания инвестора в наиболее вероятном сценарии, образуя точки  $a_2$  треугольной функции принадлежности. Определение значений  $a_1$  и  $a_3$  (в пессимистическом и оптимистическом сценариях соответственно) 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. Тогда переменные  $a_1$  и  $a_3$  примут значения:

$$a_1^{\text{вантовый}} = -3215 \times (100\% + 25\%) = -4018,75 \text{ млн руб.};$$

$$a_3^{\text{вантовый}} = -3215 \times (100\% - 25\%) = -2411,25 \text{ млн руб.};$$

$$a_1^{\text{подвесной}} = -3867 \times (100\% + 25\%) = -4833,75 \text{ млн руб.};$$

$$a_3^{\text{подвесной}} = -3867 \times (100\% - 25\%) = -2900,25 \text{ млн руб.}$$

В пессимистическом сценарии проекта *Мост вантовый* возможны также «критические» затраты, связанные с вероятностью обрушения моста при монтаже. По предварительным оценкам экспертов, возможность возникновения аварийной ситуации можно определить на уровне 0,1 (т.е. как очень низкую). В случае ее наступления потребуются увеличение финансирования проекта на сумму, приближенно 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, а в дальнейшем суммируем ее с функцией принадлежности *вантового Моста*.

Опираясь на представленную информацию, рассчитаем значения  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  для числа  $\beta_{\text{вантовый обрушение}}$  представляющего суммарные затраты, связанные только с обрушением моста при монтаже. В расчетах будем отталкиваться от уже имеющихся точек в оптимистическом, пессимистическом и наиболее вероятном сценариях проекта *Мост вантовый*.

$$a_1^{\text{вант.обр.}} = -4018,75 \times (100\% + 50\%) = -6028,13 \text{ млн руб.};$$

$$a_2^{\text{вант.обр.}} = -3215,00 \times (100\% + 50\%) = -4822,5 \text{ млн руб.};$$

$$a_3^{\text{вант.обр.}} = -2411,25 \times (100\% + 50\%) = -3616,88 \text{ млн руб.}$$

Приведем к первому кварталу строительства (продисконтируем по ставке  $r = 0,12/4$ ) все капитальные затраты, соответствующие полученным точкам (табл. 7.16).

Таблица 7.16

#### Дисконтированные затраты по проектам, млн руб.

Проект	$a_1$	$a_2$	$a_3$
Мост вантовый	-3334,62	-2667,69	-2000,77
Мост вантовый (обрушение)	-4624,36	-3699,49	-2774,62
Мост подвесной	-3846,88	-3077,51	-2308,13

Нормируем полученные затраты на максимальное (по модулю) значение. Однако после нормирования отрицательные числа примут положительные значения, изменив свой порядок на оси абсцисс на обратный. Для сохранения последовательности вычтем полученные значения из единицы (табл. 7.17).

Таблица 7.17

#### Треугольные числа проектов

Проект	$a_1$	$a_2$	$a_3$
Мост вантовый	0,28	0,42	0,57
Мост вантовый (обрушение)	0,00	0,20	0,40
Мост подвесной	0,17	0,33	0,50

Отобразим полученные функции принадлежности *Моста вантового* на рис. 7.8:  $A'_{\text{вантовый}}$  и  $A''_{\text{вантовый}}$  соответствуют безаварийному и аварийному случаю. При этом функцию  $A''_{\text{вантовый}}$  расположим так, чтобы она проходила через точку  $a_2^{\text{вант.авар.}}$  со степенью принадлежности приблизительно равной 0,1.

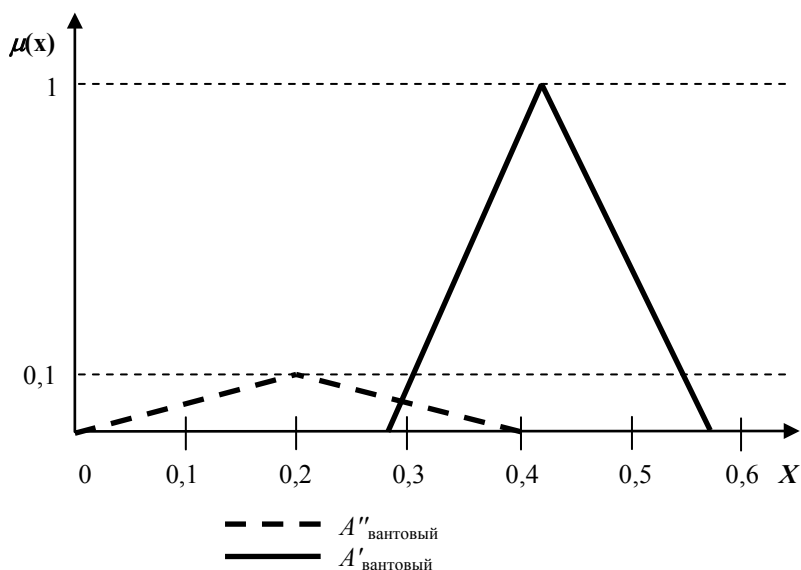


Рис.7.8. Функции принадлежности Моста вантового

Просуммируем теперь соответствующие нечеткие множества. Сумма (объединение) нечетких множеств  $M$  и  $N$  ( $M \cup N$ ) определяется как наименьшее нечеткое множество, содержащее и  $N$  и  $M$ . Функция принадлежности такого множества находится как  $A_{\text{вантовый}}(x) = \max(A'(x), A''(x))$ . Графически функции принадлежности обоих вариантов проекта моста показаны на рис. 7.9.

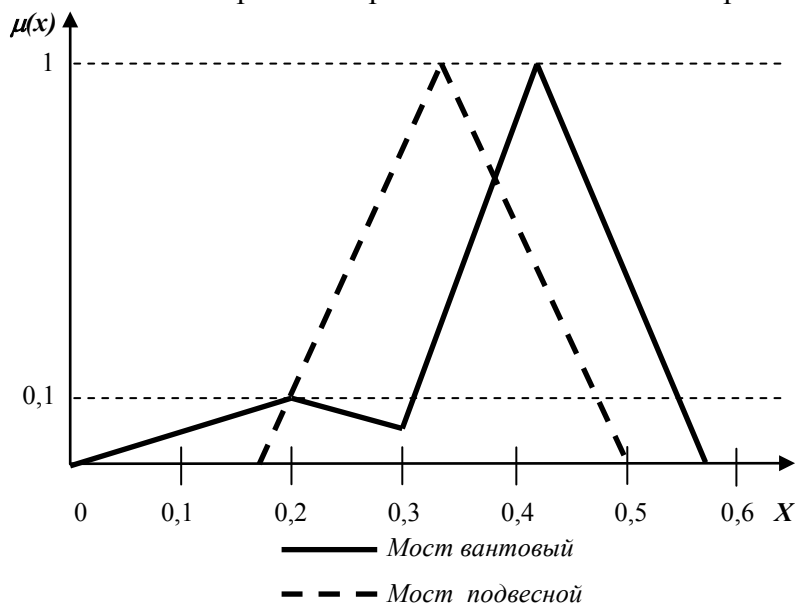


Рис.7.9. Функции принадлежности проектов

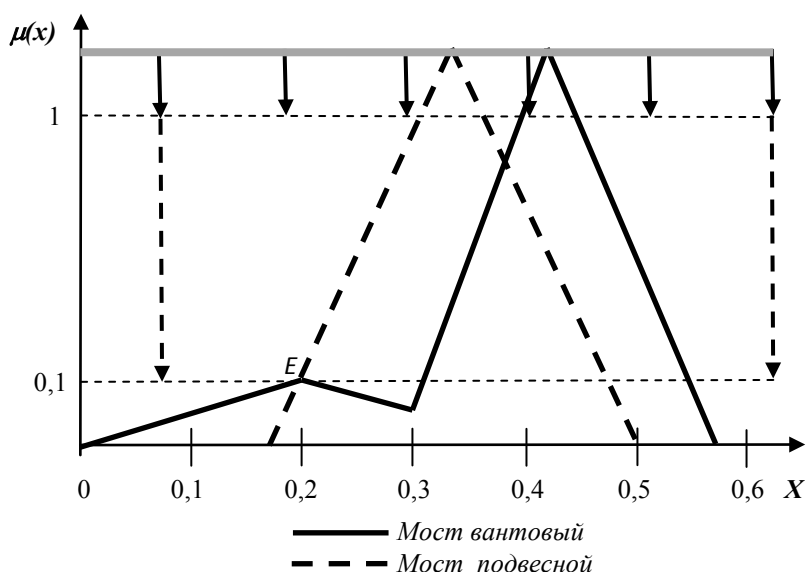


Рис. 7.10. Функции принадлежности проектов и их анализ на разных уровнях принадлежности

Степени принадлежности, описанные функцией  $\mu(x)$ , говорят о степени уверенности в том, что затраты на сооружение данного варианта моста составят ту или иную величину. Иными словами, чем меньше степень принадлежности, тем меньшей представляется возможность актуализации затрат данного объема. Возьмем некоторую линию, параллельную оси абсцисс – линию возможности. Перемещая ее, мы анализируем капитальные затраты при примерно равном уровне возможности их актуализации (рис. 7.10). Проводя такой анализ, т.е. двигаясь сверху вниз, мы в плоскости  $\mu-X$  фиксируем, что значения  $x$  *Моста вантового* являются лучшими по отношению к аналогичным значениям *Моста подвесного* при примерно одинаковом уровне принадлежности.

Переместившись до значения  $\mu \approx 0,1$  (см. рис. 7.10), определяем точку  $E$ , в которой затраты в пессимистическом сценарии обоих проектов примерно равны. Однако оптимистические значения  $x$  по-прежнему сохраняют доминирование *Моста вантового* > *Моста подвесного*.

Продолжая сдвигать линию анализа к нулевой точке ординат, получаем резкое увеличение затрат проекта *Мост вантовый* в пессимистическом сценарии. Колебания затрат проекта *Мост подвесной* на этом отрезке являются незначительными относительно точки  $E$ .

Основываясь на этих соображениях, можно сделать вывод, что проект *Мост вантовый* является более предпочтительным. Но в случае, если инвестор является крайним пессимистом, т.е. нацелен на инвестиции, располагающиеся на уровне  $\mu$  от 0 до 0,1 пессимистической области функций принадлежности, то наиболее предпочтительным становится проект *Мост подвесной*.



## 7.5. ОЦЕНКА КАЛЕНДАРНЫХ ПЛАНОВ РЕАЛИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНОГО КИП НА ТРЕТЬЕМ ЭТАПЕ (ЧИСЛОВОЙ ПРИМЕР)

**Сетевой график проекта.** В предыдущем разделе был осуществлен анализ двух проектных альтернатив моста через пролив Босфор Восточный, основанный на теории нечетких множеств, и сделан вывод, что рациональным выбором является проект *Мост вантовый*.

С целью углубления анализа на третьем этапе оценки (см. рис. 7.3) был построен сетевой график проекта (табл. 7.18 и рис. 7.11).

На рис. 7.11 критический путь в сетевом графике, построенном с временным шагом 1 месяц, выделен жирными линиями, 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 ранние возможные сроки 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. «Левый» и «правый» планы различаются профилями недисконтированных капитальных затрат на производство строительно-монтажных работ (табл. 7.19).

Таблица 7.18

**Табличное описание сетевого графика строительно-монтажных работ  
по сооружению *Моста вантового***

Наименование работы	Продолжительность, дней	Дата начала	Дата окончания	Затраты (млн руб.)
1	2	3	4	5
<b><i>Проект Мост вантовый</i></b>	1389	01.01.2009	21.10.2012	
<b>Луч 1: Сооружение опоры М6 и пилона, в том числе работы:</b>	859	01.01.2009	10.05.2011	
1–2 Подготовка грунтового основания под искусственный островок опоры М6	167	01.01.2009	17.06.2009	198
2–3 Забивка маячных свай, установка направляющих каркасов и устройство шпунтового ограждения	84	17.06.2009	09.09.2009	53
3–4 Бурильными установками BAUER и JUNTAN производится бурение и бетонирование буронабивных свай опоры М6	136	09.09.2009	23.01.2010	82
4–5 Бетонирование фундаментов под башенные краны, монтаж башенных кранов	43	23.01.2010	07.03.2010	68
4–6 поэтапное бетонирование ростверков опоры до проектной отметки	133	23.01.2010	05.06.2010	66

Продолжение 1 табл. 7.18

1	2	3	4	5
6–7 Монтаж механизмов самоподъема опалубок пилона	29	05.06.2010	04.07.2010	9
7–8 С помощью самоподъемной опалубки бетонуются стойки пилона до узлов крепления вант	208	04.07.2010	28.01.2011	155
8–9 Монтаж металлоконструкции узлов крепления вант и параллельное бетонирование стоек пилона	102	28.01.2011	10.05.2011	76
<b>Луч 2: Сооружение опоры М7 и пилона, в том числе работы:</b>	844	01.01.2009	25.04.2011	
1–10 Подготовка грунтового основания под искусственный островок опоры М7	152	01.01.2009	02.06.2009	180
10–11 Забивка маячных свай, установка направляющих каркасов и устройство шпунтового ограждения	84	02.06.2009	25.08.2009	53
11–12 Бурильными установками BAUER и JUNTAN производится бурение и бетонирование буронабивных свай опоры М7	136	25.08.2009	08.01.2010	82
12–13 Бетонирование фундаментов под башенные краны, монтаж башенных кранов	43	08.01.2010	20.02.2010	68
12–14 Поэтапное бетонирование ростерков опоры до проектной отметки	133	08.01.2010	21.05.2010	66
14–15 Монтаж механизмов самоподъема опалубок пилона	33	21.05.2010	23.06.2010	10
15–16 С помощью самоподъемной опалубки бетонуются стойки пилона до узлов крепления вант	205	23.06.2010	14.01.2011	151
16–17 Монтаж металлоконструкции узлов крепления вант и параллельное бетонирование стоек пилона	101	14.01.2011	25.04.2011	74
<b>Луч 3: Сооружение опор М1–М5 и пролетных строений между ними, в том числе работы:</b>	843	01.01.2009	24.04.2011	
1–18 Устройство рабочих площадок, отсыпка щебеночной подготовки и укладка плит для сооружения опор М1–М5, устройство подъездов для сооружения опор	117	01.01.2009	28.04.2009	101
18–19 Бурение и бетонирование буронабивных свай опор	170	28.04.2009	15.10.2009	99

Продолжение 2 табл. 7.18

1	2	3	4	5
19–20 Установка арматурных каркасов, бетонирование ростверков и тел опор	295	15.10.2009	06.08.2010	145
19–21 Бурение и бетонирование буронабивных свай временных опор	45	15.10.2009	29.11.2009	50
1	2	3	4	5
21–22 Монтаж временных опор	34	29.11.2009	02.01.2010	47
22–23 Армирование и бетонирование железобетонных пролетных строений в пролетах М1–М6	261	06.08.2010	24.04.2011	80
<b>Луч 4: Сооружение опор М8–М12 и пролетных строений между ними, в том числе работы:</b>	858	01.01.2009	09.05.2011	
1–24 Устройство рабочих площадок, отсыпка щебеночной подготовки и укладка плит для сооружения опор М8–М12, устройство подъездов для сооружения опор	128	01.01.2009	09.05.2009	108
24–25 Бурение и бетонирование буронабивных свай опор	170	09.05.2009	26.10.2009	99
25–26 Установка арматурных каркасов, бетонирование ростверков и тел опор	295	26.10.2009	17.08.2010	145
25–27 Бурение и бетонирование буронабивных свай временных опор	47	26.10.2009	12.12.2009	51
1	2	3	4	5
27–28 Монтаж временных опор	35	12.12.2009	16.01.2010	47
28–29 Армирование и бетонирование железобетонных пролетных строений в пролетах М7–М12	265	17.08.2010	09.05.2011	83
<b>Луч 5: Подготовка вант и металлической балки жесткости к монтажу главного пролетного строения от пилона М6</b>	77	01.01.2009	19.03.2009	
1–30 Устройство пирсов для передвижки блоков балки жесткости на плавсистемы около опоры М6	27	01.01.2009	28.01.2009	33
30–31 Транспортировка вант и элементов металлической балки жесткости на строительную площадку около опоры М6	21	28.01.2009	18.02.2009	23

Окончание табл. 7.18

1	2	3	4	5
31–32 Укрупнительная сборка блоков балки жесткости	29	18.02.2009	19.03.2009	16
<b>Луч 6: Подготовка вант и металлической балки жесткости к монтажу главного пролетного строения от пилона М7</b>	77	01.01.2009	19.03.2009	
1–33 Устройство пирсов для передвижки блоков балки жесткости на плавсистемы около опоры М7	27	01.01.2009	28.01.2009	33
33–34 Транспортировка вант и элементов металлической балки жесткости на строительную площадку около опоры М7	21	28.01.2009	18.02.2009	23
34–35 Укрупнительная сборка блоков балки жесткости	29	18.02.2009	19.03.2009	16
<b>Луч 7: Монтаж вант и металлической балки жесткости главного пролетного строения от пилона М7, подготовка моста к сдаче</b>	545	25.04.2011	21.10.2012	
9–36 На опоре М6 монтируются монтажные агрегаты для сооружения балки жесткости	27	10.05.2011	06.06.2011	6
36–37 Одновременный монтаж балки жесткости и вант от пилона М6 к середине пролета	351	06.06.2011	22.05.2012	264
37–40 Замыкание блоков балки жесткости в середине пролета	3	22.05.2012	25.05.2012	5
17–38 На опоре М7 монтируются монтажные агрегаты для сооружения балки жесткости	27	25.04.2011	22.05.2011	6
38–39 Одновременный монтаж балки жесткости и вант от пилона М7 к середине пролета	351	22.05.2011	07.05.2012	264
39–40 Замыкание блоков балки жесткости в середине пролета	3	07.05.2012	10.05.2012	5
40–41 Антикоррозионная защита элементов пролетного строения	65	25.05.2012	29.07.2012	30
41–42 Устройство проезжей части	69	29.07.2012	06.10.2012	34
42–43 Подготовка моста к сдаче	15	06.10.2012	21.10.2012	11

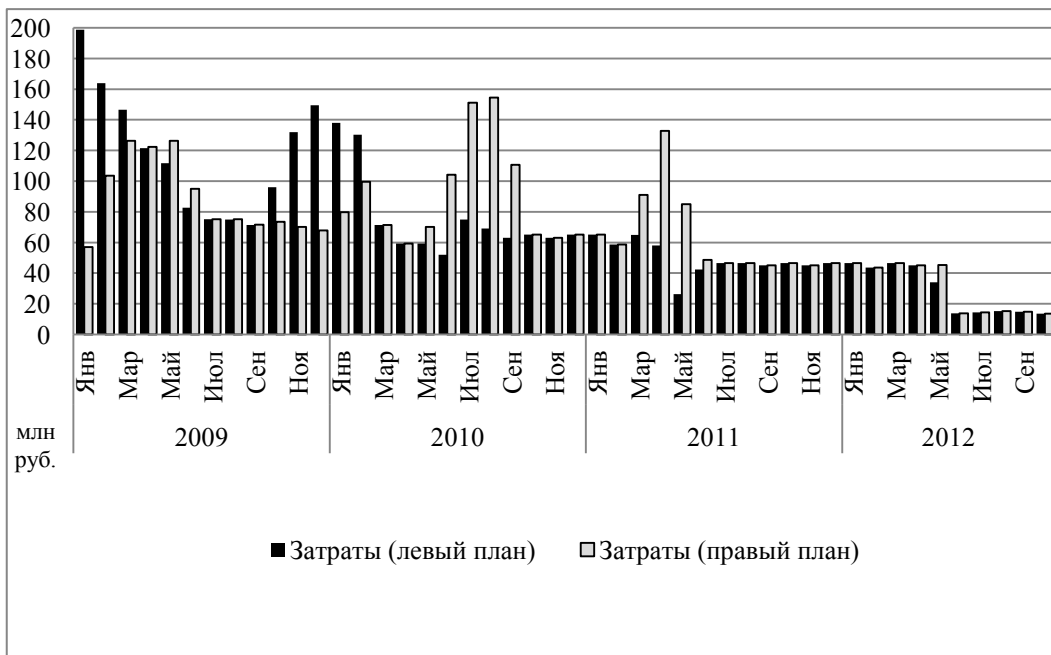
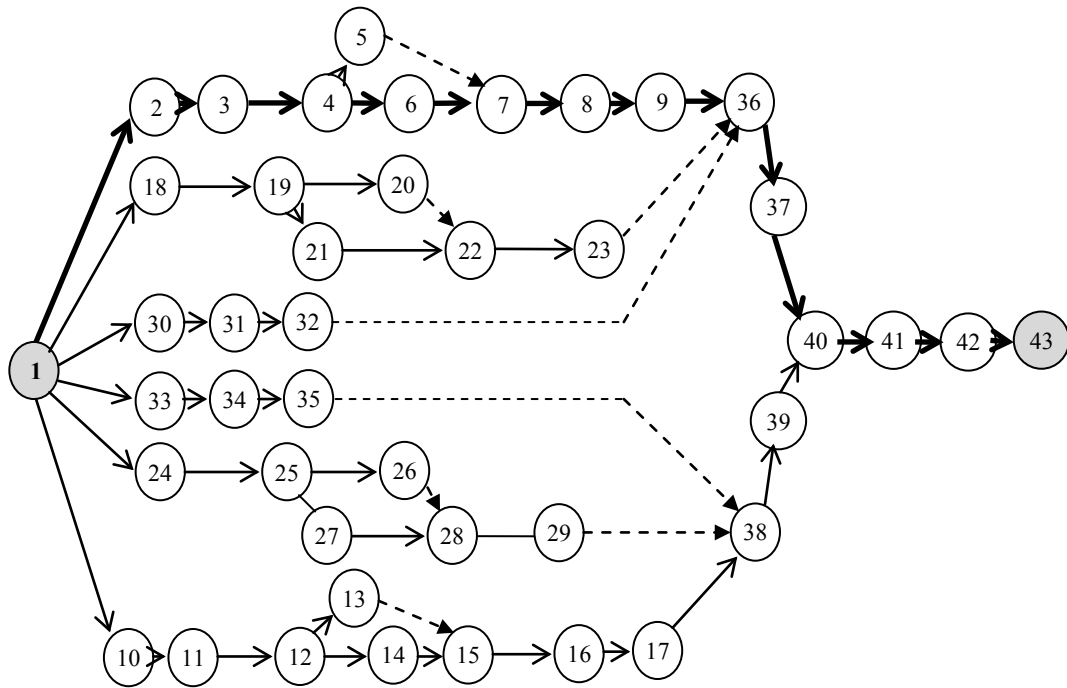


Рис. 7.11. Сетевой график сооружения Моста вантового

Таблица 7.19

**Недисконтированные капитальные затраты на производство  
строительно-монтажных работ проекта *Мост вантовый*, млн руб.**

Месяц	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	132,8	45,13	45,13
Май	111,76	126,38	59,19	70,14	26,4	84,9	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	70,1	63,04	63,04	45,13	45,13	–	–
Декабрь	149,41	67,86	65,15	65,15	46,63	46,63	–	–

**Нечетко-множественный анализ.** Исходя из приведенной информации, можно на данном этапе расширить нечетко-множественный анализ, примененный в предыдущем разделе. А именно, перестроить треугольные функции принадлежности в трапециевидные вида  $\beta(a_1, a_2, a_3, a_4)$  [Недосекин, 2003(а)], где числа  $a_2, a_3$  верхнего основания трапеции будут представлены дисконтированными инвестициями согласно «левому» и «правому» планам соответственно. Продисконтируем по ставке  $r = 0,12/12$  капитальные затраты, соответствующие полученным точкам, нормируем их к максимальному уровню затрат и вычтем полученные значения из единицы, т.е., действуя по аналогии с п. 7.4, заполним табл. 7.20. Рассчитав аргументы  $x$  функции принадлежности, изобразим ее графически (рис. 7.12).

Таблица 7.20

**Значения трапециевидной функции принадлежности проекта  
*Мост вантовый***

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

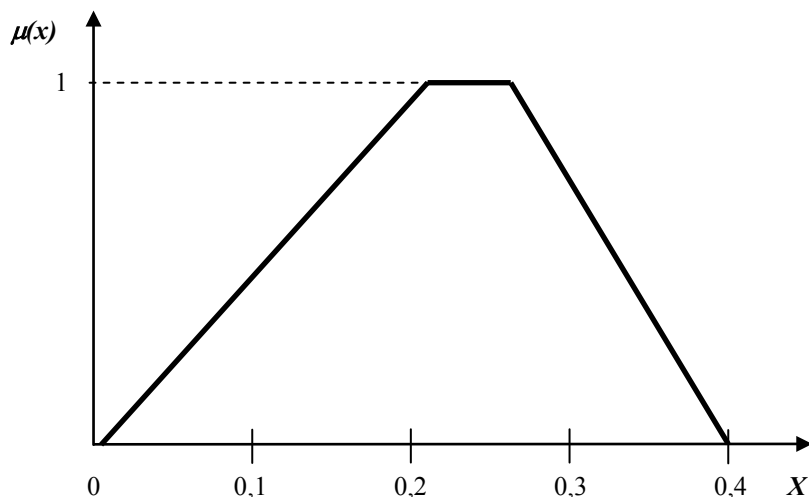


Рис. 7.12. Трапециевидная функция принадлежности проекта

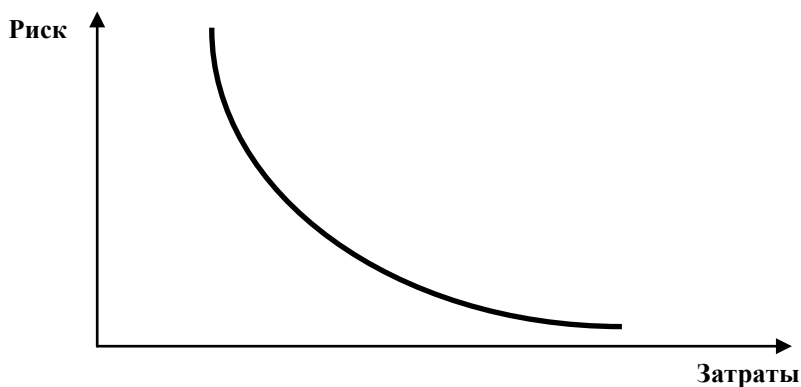


Рис. 7.13. Кривая L-L как отображение Парето-оптимальных планов

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 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 проекта и, наоборот, уменьшая риск в процессе формирования «левого» календарного плана, увеличиваем приведенные капитальные затраты. Возникает классическая двухкритериальная задача выбора эффективного плана сооружения *Моста вантового*, когда множество точек на гипотетической кривой

$L-L$  (рис. 7.13) есть отображение в пространство критериев «приведенные затраты – риск» множества Парето-оптимальных, т.е. несравнимых между собой допустимых по сетевым ограничениям 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. 7.14).



Рис. 7.14. Анализ «приведенные капитальные затраты – риск»

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».

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 (рис. 7.15), как трапециевидное число  $\beta(0,35; 0,45; 0,55; 0,65)$ .



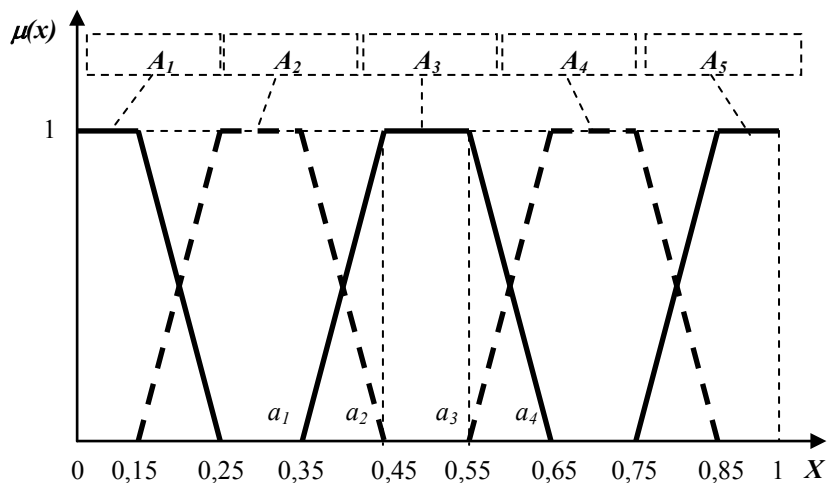


Рис. 7.15. Пенташкала интерпретации лингвистической информации в нечетко-множественное описание

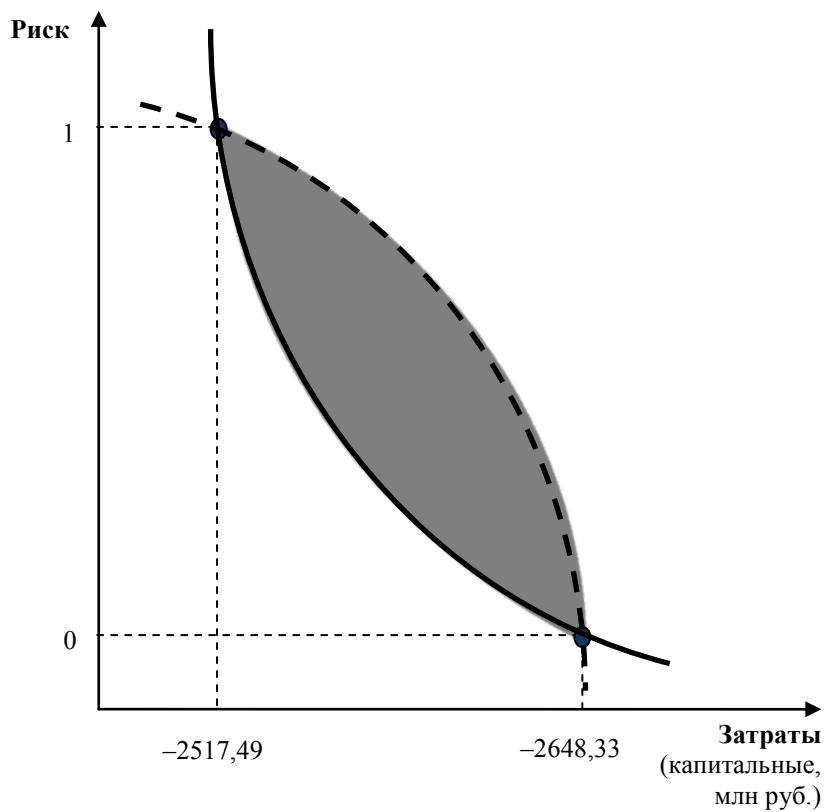


Рис. 7.16. Область возможных исходов проекта *Мост вантовый* на плоскости «приведенные затраты – риск»

Отталкиваясь от полученного числа  $\beta$ , можно утверждать: «скорее всего показатель примет значение...» на участке  $[0,45; 0,55]$  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 проекта на плоскости «приведенные затраты – риск», по аналогии с рис. 7.13 [Кибалов и др. 2008]. Однако оси такой плоскости являются детерминированными. Поэтому для отображения на них нечеткой информации «размыв» получаемые значения графически (рис. 7.16). Исходя из того что цель инвестора – минимизация затрат и рисков, выделим на полученной области подмножество недоминируемых альтернативных решений, т.е. Парето-границу (на рис. 7.16 выделена сплошной линией).

Затем для определения на кривой рекомендуемых значений при заданном уровне риска применим частный метод линейной свертки с двумя критериями [Бахтин, 2011]:

$$w_1 y_1 + w_2 y_2 = c. \tag{7.16}$$

В качестве коэффициента  $w_1$  уравнения (7.16) последовательно используем четыре опорные точки  $(a_1, \dots, a_4)$  трапециевидного числа  $\beta$ . Возвращаясь к рис. 7.13, где отображено, что затраты имеют обратную зависимость от степени риска, определим второй коэффициент уравнения как  $w_2 = (1 - w_1)$ . Таким образом, получаем четыре прямые  $L(c)$ .

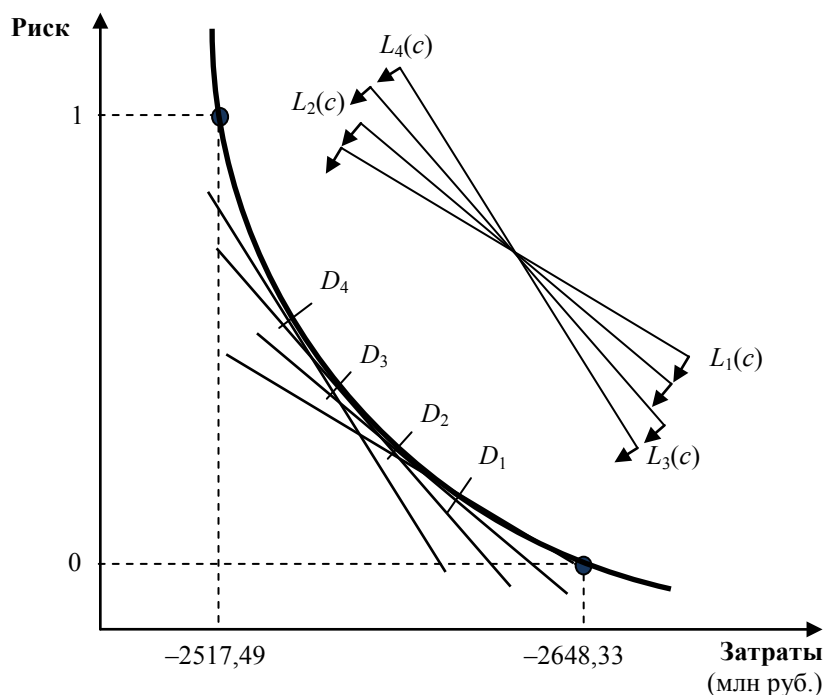


Рис. 7.17. Геометрическая интерпретация нечетко-множественной свертки

Решением задачи будет такое значение переменных  $s$ , при которых 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. 7.17).

Следует отметить, что полученные точки являются нечеткими, так как базируются на нечеткой информации. Однако для наглядности примера мы отображаем их в четком виде. Чтобы обозначить различную степень принадлежности, воспользуемся методом градиентной заливки (рис. 7.18). Интенсивность цвета в данном случае играет роль уровня «качественности» точек: чем интенсивнее цвет градиента на соприкосновении с графиком, тем рациональнее данный выбор в контексте нечетких параметров задачи.

Следующий шаг – корректировка сетевого графика проекта на основе выбора конкретного варианта инвестором, отталкиваясь от уже имеющихся диаграмм.

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. 7.16 с уже обозначенными рекомендациями экспертов (рис. 7.19). Из рисунка видно, что проекция выбора инвестора пересекает область возможных исходов 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 какие по величине временные отрезки, разобьем все работы на цепочки (последовательности) работ с одинаковыми резервами времени (табл. 7.21). Как мы уже предположили, коэффициент затрат  $w_2$  в уравнении (7.16) имеет обратную зависимость  $(1 - w_1)$  от уровня риска. Поэтому правомерно предположить, что при уровне риска, примерно равном 0,5, необходимый объем инвестиций будет примерно на середине отрезка между минимальным и максимальным значениями затрат, т.е.  $S_h = (-2517,49 + (-2648,33))/2$ . Исходя также из того, что максимальное значение затрат данного отрезка образуется «левым» планом (резерв времени всех работ не реализован), а минимальное – «правым» (резервы времени отсутствуют), можно определить, что при уровне затрат  $S_h$  резерв времени работ будет использован приблизительно наполовину (см. табл. 7.21). Иными словами, для достижения необходимого результата следует увеличить время начала первой работы в цепочке на величину, равную половине ее резерва.

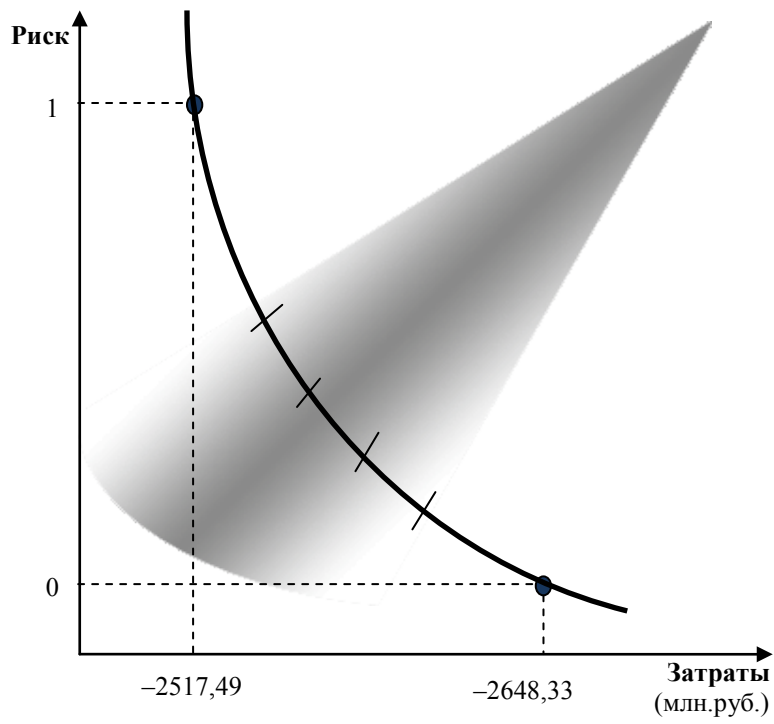


Рис. 7.18. Геометрическая интерпретация с градиентной заливкой нечетко-множественной свертки

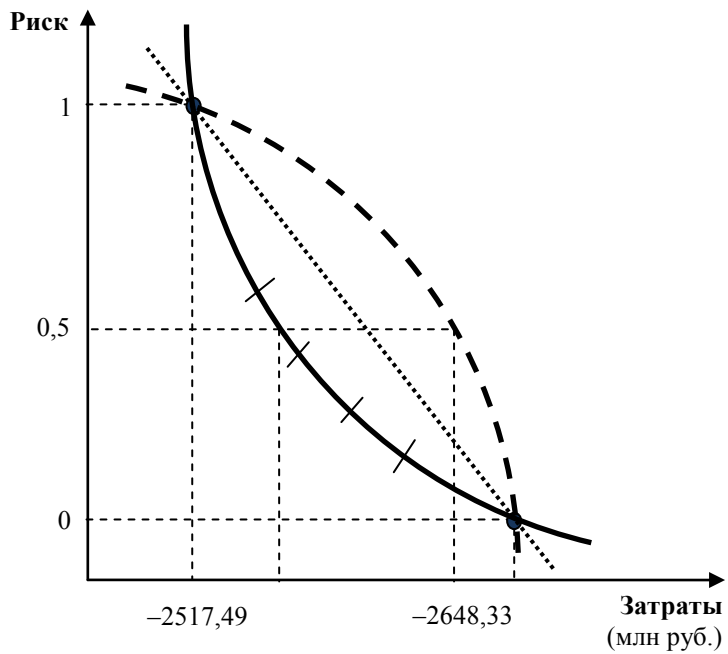


Рис. 7.19. Проекция выбора инвестора на область возможных исходов проекта *Мост вантовый*

Таблица 7.21

## Последовательности работ проекта 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: Знаком «=» обозначены фиктивные работы.

## ЛИТЕРАТУРА

- Бахтин А.Е., Кибалов Е.Б.** Оценка эффективности инвестиционных проектов. – Ч. 1. – Новосибирск: СГУПС, 2011.
- Белкин А.Р., Левин М.Ш.** Принятие решений: комбинаторные модели аппроксимации информации. – М.: Наука, 1990.
- Беспалов И.А., Шипилина А.И.** Применение теории нечетких множеств при оценке сложных инвестиционных проектов // Регион: экономика и социология. – 2010. – № 3. – С. 176–189.
- Бузулуцков В.Ф., Кибалов Е.Б., Нехорошков В.П., Суслов Н.И.** Сибирский вектор развития опорной железнодорожной сети России в XXI веке: анализ и оценка стратегических альтернатив. – Новосибирск: СГУПС, 2008. (Препринт № 11).
- Вебер М.** Избранные произведения. – М.: Прогресс, 1990.
- Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А.** Оценка эффективности инвестиционных проектов: теория и практика. – М.: Дело, 2001.
- Вилкас Э.Й., Майминас Е.З.** Решения: теория, информация, моделирование. – М.: Радио и связь, 1981.
- Глущенко К.** Особенности национальной электроэнергетики // Новая Сибирь. – 1999. – 10 дек.
- Гранберг А.Г., Михеева Н.Н., Суслов В.И.** Результаты экспериментальных расчетов по оценке эффективности инвестиционных проектов с использованием межотраслевых межрегиональных моделей // Регион: экономика и социология. – 2010. – № 4. – С. 45–72.
- Гранберг А.Г., Суспицын С.А.** Введение в системное моделирование народного хозяйства. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1988.
- Егоров И.** Мост в будущее // Российская газета. Спецвыпуск «Экономика: автомобильные дороги», № 5040. – 2009. – 18 нояб.

- Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976.
- Кибалов Е.Б., Горяченко В.И., Хуторецкий А.Б. Системный анализ ожидаемой эффективности крупномасштабных проектов. – Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2008.
- Кибалов Е.Б., Кин А.А. Проблема учета фактора неопределенности при оценке крупномасштабных инвестиционных проектов // Регион: экономика и социология. – 2007. – № 3. – С. 67–91.
- Кибалов Е.Б., Минин С.В., Нехорошков В.П., Нехорошков Е.В., Пахомова Г.Ф., Пахомов К.А., Пятаев М.В., Романкевич С.В., Хуторецкий А.Б. Системный анализ ожидаемой эффективности крупномасштабных инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте. – Новосибирск: СГУПС, 2007.
- Кибалов Е.Б., Хуторецкий А.Б. К вопросу оценки крупномасштабных инвестиционных проектов в условиях неопределенности // Материалы научно-практической конференции «Транспортные инвестиционные проекты: народнохозяйственная, региональная и коммерческая эффективность». – М.: РАН, СОПС, 2005. – С. 35–58.
- Коуз Р. Фирма, рынок и право. – М.: Новое издательство, 2007.
- Макаров И.М., Соколов В.В., Абрамов А.Л. Целевые комплексные программы. – М.: Знание, 1980.
- Мартино Дж. Технологическое прогнозирование. – М.: Прогресс, 1977.
- Методика расчета показателей и применения критериев эффективности инвестиционных проектов, претендующих на получение государственной поддержки за счет средств Инвестиционного фонда Российской Федерации. Утверждена приказом Минэкономразвития РФ и Минфина РФ от 23 мая 2006 г. № 139/82н.
- 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. колл.: Коссов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. – М.: Экономика, 2000.
- Недосекин А.О. Фондовый менеджмент в расплывчатых условиях. – СПб.: Сезам, 2003.
- Недосекин А. О. Нечетко-множественный анализ риска фондовых инвестиций. – СПб.: Сезам, 2002.
- Недосекин А.О. Методологические основы моделирования финансовой деятельности с использованием нечетко-множественных описаний. – Дис. на соиск. уч. ст. д-ра экон. наук. – СПб, 2003(а).
- Никонова И. Проблемы оценки инвестиционных проектов в условиях финансово-экономического кризиса // Оценочная деятельность. – 2009. – № 2. – С. 38–39.
- Орловский С.А. Проблема принятия решений при нечеткой исходной информации. – М.: Наука, 1981.
- Постановление Правительства Российской Федерации от 17 марта 2009 г. № 231 «Об утверждении Правил предоставления в 2009 году субсидий организациям воздушного транспорта в целях обеспечения доступности воздушных перевозок пассажиров с Дальнего Востока в европейскую часть страны и в обратном направлении» // Российская газета. – 2009. – 20 марта.
- Розен В.В. Математические модели принятия решений в экономике. – М.: Высшая школа, 2002.
- Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993.
- Хуторецкий А.Б. Экспертное оценивание объектов по некватифицированному критерию с помощью модели Бержа–Брука–Буркова. – Новосибирск: ИЭиОПП СО РАН, 1994. (Препринт 130).
- Шубик М. Теоретико-игровые решения и производственная организация // Математические методы в социальных науках. – М.: Прогресс, 1973. – С. 170–195.
- Alexander I. The planning balance sheet: an appraisal // Australian project evaluation: selected readings. – Sydney: Australia & New Zealand Book Co., 1978.

- Baumol W.J., Bradford D.F.** Optimal departures from marginal cost pricing // *American Economic Review*. – 1970. – V. 40, № 3. – P. 265–283.
- Bewertungsmethode** für die Priorisierung von Projekten im Schienenverkehr. – Bern: ECOPLAN, 2005.
- Economic** evaluation methods for road projects in PIARC member countries. – World Road Association, 2004.
- Facts** and furbphies in benefit-cost analysis: transport. – Canberra: Bureau of Transport Economics, 1999.
- Flyvbjerg B., Holm M.K.S., Buhl S.L.** How (in)accurate are demand forecasts in public works projects? The case of transportation // *Journal of the American Planning Association*. – 2005. – V. 71, № 2. – P. 131–146.
- Flyvbjerg B., Holm M.S., Buhl S.** Underestimating costs in public works projects: error or lie? // *Journal of the American Planning Association*. – 2002. – V. 68, № 3. – P. 279–295.
- Gertler P.J., Martinez S., Premand P., Rawlings L.B., Vermeersch C.M.J.** Impact evaluation in practice. – Washington, D.C.: World Bank, 2011.
- Gramlich E.M.** Benefit-cost analysis of government programs. – Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1981.
- Guess G.M., Farnham P.G.** Cases in public policy analysis. – Washington, D.C.: Georgetown University Press, 2000.
- Handbook** on economic analysis of investment operations. – Washington, D.C.: World Bank, 1998.
- Jonkhoff W., Rustenberg M.** Indirect effects in European transport appraisal // *Infrastructure Productivity Evaluation*. – New York; Dordrecht; Heidelberg; London: Springer, 2011. – P. 79–94.
- Lichfield N., Kettle P., Whitbread V.** Evaluation in the planning process. – Oxford; New York: Pergamon Press, 1975.
- Mackie P.J., Nellthorp J., Laird J.J., Ahmed F.** Toolkit for the evaluation of World Bank transport projects. – Washington, D.C.: World Bank, 2003.
- Nash C.** Final report for publication. UNITE (UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency). – Leeds: University of Leeds, 2003.
- Procedures** for dealing with optimism bias in transport planning. Guidance document. – London: British Department for Transport, 2004.
- Ravallion M.** The mystery of the vanishing benefits: an introduction to impact evaluation // *World Bank Economic Review*. – 2001. – V. 15, № 1. – P. 115–140.
- Train K.** Optimal transit prices under increasing returns to scale and a loss constraint // *Journal of Transport Economics and Policy*. – 1977. – V. 11, № 2. – P. 185–194.
- Wegener M.** SASI Model Description / Working Paper № 08/01. – Dortmund: Spiekermann & Wegener Urban and Regional Research, 2008.
- White H.** Some reflections on current debates in impact evaluation / *International Initiative for Impact Evaluation Working Paper No. 1*. – New Delhi, 2009.
- Willig R.D.** Consumer's surplus without apology // *American Economic Review*. – 1976. – V. 66, № 4. – P. 589–597.
- Zerbe R.O.** Should moral sentiments be incorporated into benefit-cost analysis? An example of long-term discounting // *Policy Sciences*. – 2004. – V. 37, № 3–4. – P. 305–318.
- Zerbe R.O.** The legal foundation of cost-benefit analysis // *Charleston Law Review*. – 2007. – V. 2, № 1. – P. 93–184.

#### ЭЛЕКТРОННЫЕ ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ

- Волков И.М., Грачева М.В., Алексанов Д.С.** Критерии оценки проектов (часть 1). [Электронный ресурс] Прогноз финансовых рисков. Режим доступа: <http://bre.ru/risk/911.html>, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус. (дата обращения: 10.10. 2011 г.).
- Руководство** по применению метода анализа издержек и выгод для оценки инвестиционных проектов (Structural Fund-ERDF. Cohesion Fundu ISPA): подготовлено для Оце-

- ночного Комитета Генерального Директората Региональной политики Европейской Комиссии. – М.; Калининград, 2006.
- Developing** harmonised European approaches for transport costing and project assessment. Deliverable 1. Current practice in project appraisal in Europe. [Электронный ресурс] HEATCO. Режим доступа: <http://heatco.ier.uni-stuttgart.de/hd1final.pdf>, свободный. Загл. с экрана. Яз. англ. (дата обращения: август 2011 г.).
- Developing** harmonised European approaches for transport costing and project assessment. Deliverable 5. Proposal for harmonised guidelines. [Электронный ресурс] HEATCO. Режим доступа: [http://heatco.ier.uni-stuttgart.de/HEATCO\\_D5.pdf](http://heatco.ier.uni-stuttgart.de/HEATCO_D5.pdf), свободный. Загл. с экрана. Яз. англ. (дата обращения: август 2012 г.).
- Improved** decision aid methods and tools to support evaluation of investment for transport and energy networks in Europe. Deliverable 1. Evaluating the state-of-the-art in investment for transport and energy networks. [Электронный ресурс] EVA-TREN – Transport Research & Innovation Portal. Режим доступа: [http://www.transport-research.info/Upload/Documents/201212/20121215\\_150641\\_58200\\_Deliverable\\_1.pdf](http://www.transport-research.info/Upload/Documents/201212/20121215_150641_58200_Deliverable_1.pdf), свободный. Загл. с экрана. Яз. англ. (дата обращения: январь 2013 г.).
- Improved** decision aid methods and tools to support evaluation of investment for transport and energy networks in Europe. Deliverable 3.2. Methodological developments. [Электронный ресурс] EVA-TREN – Transport Research & Innovation Portal. Режим доступа: [http://www.transport-research.info/Upload/Documents/201212/20121215\\_150712\\_69431\\_Deliverable\\_3.2.pdf](http://www.transport-research.info/Upload/Documents/201212/20121215_150712_69431_Deliverable_3.2.pdf), свободный. Загл. с экрана. Яз. англ. (дата обращения: январь 2013 г.).
- Rutherford T., Paltsev S.** From an input-output table to a general equilibrium model: assessing the excess burden of indirect taxes in Russia. – Department of Economics, University of Colorado, 1999. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://web.mit.edu/paltsev/www/docs/exburden.pdf>, свободный. Загл. с экрана. Яз. англ. (дата обращения: август 2011 г.).