

Научная статья

УДК: 336.531.2, 336.67, 338.49, 69.003.12

DOI: 10.17323/1999-5431-2022-0-4-30-60

## О КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ РИСКОВ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ПРОЕКТОВ С ГОСУЧАСТИЕМ

**Беляков Игорь Вячеславович<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Кандидат физико-математических наук, магистр экономики, руководитель направления «Финансовые рынки» Экономической экспертной группы; старший научный сотрудник Центра бюджетного анализа и прогнозирования Научно-исследовательского финансового института; 127006, г. Москва, Настасьинский пер., д. 3, стр. 2; igor.belyakov@eeg.ru; ORCID: 0000-0002-1579-3416

**Аннотация.** Многолетний опыт разных стран показывает, что при создании крупных объектов инфраструктуры (как правило, с участием государства) часто возникает серьезная проблема – значительное увеличение стоимости проекта в процессе его реализации.

В статье рассмотрены формализованные подходы к учету рисков и неопределенностей, играющие в оценке стоимости крупных и долгосрочных проектов важнейшую роль. Сопоставлены рекомендации международных организаций, официальные документы ряда развитых стран и требования, предъявляемые к российским инфраструктурным проектам с государственным финансированием.

Особое внимание уделено комплексной количественной оценке проектных рисков, не вполне задействованной в российской практике и официальных тематических руководствах – прежде всего, с использованием имитационного моделирования по методу Монте-Карло. Рассмотрены некоторые программные аспекты приложения этого метода для оценки рисков роста стоимости проекта. В качестве иллюстрации приведен модельный расчет воздействия рисков на показатели одного из последних инфраструктурных проектов, реализуемых в форме государственно-частного партнерства (ЦКАД-1).

**Ключевые слова:** инфраструктура, государственно-частное партнерство, количественный анализ рисков, метод Монте-Карло, оценка стоимости проекта.

**Для цитирования:** Беляков И. В. О количественной оценке рисков инфраструктурных проектов с госучастием // Вопросы государственного и муниципального управления. № 4. С. 30–60. DOI: 10.17323/1999-5431-2022-0-4-30-60

Original article

# ON QUANTITATIVE RISK ASSESSMENT OF INFRASTRUCTURAL PROJECTS WITH STATE PARTICIPATION

**Igor V. Belyakov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Ph.D. (in Physics and Mathematics), Master of Economics, Head of the Financial Markets Department of the Economic Expert Group; Senior Research Fellow, Center for Budget Analysis and Forecasting, Research Financial Institute; 3/2 Nastasyinsky Lane, 127006 Moscow, Russia; igor.belyakov@eeg.ru; ORCID 0000-0002-1579-3416

**Abstract.** International experience shows that creating large infrastructure objects (as a rule, with state participation) is often accompanied by significant cost overruns. Importance of this issue is especially high due to responsibility for the use of public resources. The article reviews most recognized methods of the project risks evaluation that play a key role in assessing the total cost of large and long-term projects. Approaches of international organizations, official documents of selected developed countries and requirements for Russian infrastructure projects with state funding are compared. Particular attention is paid to a comprehensive quantitative risk evaluation, which is not sufficiently represented in the Russian official methodology, based on Monte-Carlo simulation modelling. The study considers some practical aspects of applying this method for conditional cost estimation. As an illustration, a model calculation of the impact of risks on the indicators of one of the latest PPP infrastructure projects (CRR-1) is given.

**Keywords:** probabilistic (Monte-Carlo) risk analysis, project cost overrun, infrastructure investment, PPP, project management, cost estimation, quantitative risk analysis.

**For citation:** Belyakov, I. V. (2022) 'On quantitative risk assessment of infrastructural projects with state participation', *Public Administration Issues*, 4, pp. 30–60. (In Russian). DOI: 10.17323/1999-5431-2022-0-4-30-60

**JEL Classification:** C15, C65, G32, H54, L92, R42.

## Введение

Потребности народного хозяйства предполагают регулярное создание или обновление крупных объектов инфраструктуры, в частности, транспортной. Такие большие проекты имеют, как правило, серьезное общественное значение, часто коммерчески непривлекательны, поскольку окупаются только за несколько десятилетий, и нередко за ними стоит политическое решение. По указанным причинам в этой сфере ключевую роль играет государство, инвестируя средства в форме либо государственного контракта,

либо государственно-частного партнерства (ГЧП). Российскими примерами последних лет могут служить строительство ЦКАД, модернизация порта Мурманска, олимпийские объекты в Сочи, Крымский мост, реконструкция БАМа и Транссиба, а также реализуемые в настоящее время Национальные проекты России (2019–2024)<sup>1</sup>, включающие как собственно инфраструктурные<sup>2</sup> проекты, так и инфраструктурные компоненты в рамках отраслевых<sup>3</sup> нацпроектов.

Многолетний опыт разных стран показывает, что при создании крупных объектов инфраструктуры возникает серьезная проблема – значительное, нередко кратное, увеличение запланированной стоимости проекта в процессе его реализации. Отметим, что это не обязательно свидетельствует о непродуктивном расходе средств, поскольку при тройном ограничении проекта (стоимость, сроки, содержание) рост стоимости может быть связан с сокращением сроков или важными дополнениями в содержании. Однако речь идет о том, чтобы финальная стоимость проекта не становилась неприятным сюрпризом по сравнению с планом и тем более не составила такую величину, при которой проект не был бы утвержден, будь она известна вовремя. Важность вопроса подчеркивается особой ответственностью в условиях использования общественных ресурсов.

Как показали исследования (см.: Flyvbjerg, 2017), 70–90% мегапроектов в мире реализуются с превышением стоимости. В числе печально знаменитых примеров – Сиднейская опера (превышение 1400%), Большой Бостонский тоннель (перерасход 275%) и др. Из российской практики можно вспомнить кратное увеличение стоимости олимпийских объектов в Сочи и другие примеры (Морозкина, 2015). Данные (Hollmann, 2016a) свидетельствуют, что 10% всех крупных проектов допускают перерасход запланированных средств на 70% и выше.

В ряде исследований изучались причины этого явления. Можно упомянуть обобщающую работу (Love et al., 2016), в которой отмечается, что есть две преобладающие позиции в научном осмыслении причин перерасхода средств по проектам (транспортной) инфраструктуры. Первая школа акцентирует внимание на принципиальной сложности определения точного охвата проекта, учета всех рисков и неопределенностей, вторая – на психологии: оптимистической предвзятости либо сознательном занижении ожидаемых расходов из стратегических соображений.<sup>4</sup>

В настоящей статье изучаются подходы к учету рисков и неопределенностей, которые в оценке стоимости крупных проектов играют если не доминирующую (в соответствии с позицией первого направления исследований), то, безусловно, существенную роль.

<sup>1</sup> По данным Национального центра ГЧП, совокупный бюджет нацпроектов в части инфраструктуры до 2024 г. в 2021 г. составлял 14 трлн руб. (см.: НЦ ГЧП, 2021).

<sup>2</sup> Нацпроекты «Комплексный план расширения и модернизации магистральной инфраструктуры», «Безопасные качественные автодороги».

<sup>3</sup> Нацпроекты по туризму, образованию, цифровой экономике.

<sup>4</sup> Стандартные мотивы: повышение шансов утверждения проекта Правительством; достижение подрядчиком конкурентного преимущества в конкурсе.

Рассмотрим принятое в ряде руководств<sup>5</sup> разбиение стоимости проекта на три компоненты: базовую стоимость, условную стоимость (затраты, обусловленные реализацией рисков и неопределенностей) и инфляционную добавку к стоимости:

$$C = BC + CC + IC$$

Здесь базовая стоимость (BC) – точечная оценка при наилучших предположениях обо всех параметрах проекта. Если  $BC_0$  – оценка, принятая на этапе проектирования, то для приближения  $BC_0$  к BC требуется: контроль объективности и тщательности, коррекция на оптимистическую предвзятость, наконец, аудит оценки. По сравнению с этим потенциальные ошибки в компоненте условной стоимости CC носят более сложный характер, так как связаны с неустранимой на ранних этапах неполнотой информации и неопределенностью в отношении реализации рисков. (Неопределенность, но более ограниченного вида, влияет и на инфляционную компоненту; однако при рассмотрении задачи оценки стоимости в фиксированных ценах (текущего года) ее можно не учитывать.)

Теория, которая могла бы дать метод оценки условных затрат (CC), – количественный анализ рисков проекта. Почему же на практике эта оценка остается во многих случаях неадекватной? Либо по причине неразвитости этой теории, ее принципиальной несостоятельности в таких случаях, либо по причине ее недостаточного использования или неправильного применения. Мы согласны с Ю. Райдугиным (Raydugin, 2018) и тоже считаем, что дело именно в недостаточном использовании уже развитой теории. Это видно хотя бы из официальных оповещений о строительстве инфраструктурных объектов, где обычно фигурирует одна цифра ожидаемой стоимости  $BC_0$ , без упоминания об условных затратах (CC) в каком-либо виде.

В простом варианте такое упоминание могло бы давать интервал значений стоимости инфраструктурного объекта или формулировать несколько сценариев для нее. В идеале должны были бы указываться и более содержательные сведения об оценке CC – вероятность того, что условная компонента стоимости окажется положительной; а также уровни, которые она не превзойдет с вероятностью 50 и 90%. Это важно не только для обеспечения права налогоплательщиков и соинвесторов на информацию, но и для корректного определения бюджета и объемов резервирования, и для принятия решения по допустимым границам проекта.

С практической точки зрения, возможности снижения стоимости инфраструктурных проектов кроются, прежде всего, во внедрении более совершенной методологии ее оценивания с учетом рисков и постепенным усилением институциональных механизмов ее реализации.<sup>6</sup>

<sup>5</sup> См., например: (Infrastructure and Project Authority, 2021, с. 23).

<sup>6</sup> Примером результативного воплощения такого подхода может служить опыт Австралии (см., например: Australian Government, 2018; Guidance Note 3A, p. 8).

Далее мы обсудим основные категории и источники рисков инфраструктурных проектов, затем методы количественного анализа рисков, признанные лучшей практикой на международном уровне, сопоставим эти рекомендации с принятой в России методологией и попробуем предложить простой способ ее улучшения.

## Основные категории и источники рисков

Идентификация рисков, создание их реестра и работа с ними в течение всего срока управления проектом входят в число базовых принципов науки управления проектами и могут рассматриваться как предварительное условие с точки зрения изучаемой темы. Однако общие вопросы классификации рисков инфраструктурных проектов важны с точки зрения концепции работы, поэтому кратко остановимся на них.

### **Стоимость, время и содержание**

В настоящей статье в основном рассматриваются риски для стоимости проекта. Другие категории рисков проекта составляют риски нарушения сроков и риски изменения содержания проекта. Однако реализация любого риска предполагает ущерб, и основное измерение ущерба – денежное. В этом контексте при модельной оценке рисков задержка по времени может быть приведена к стоимостному выражению с помощью введения показателя стоимости задержки на единичный период (месяц или квартал), исходя из происходящих за этот срок процентных платежей, выплат сотрудникам, оценки других затрат или упущенной выгоды, которые влечет за собой задержка. Можно также временные риски моделировать и оценивать отдельно от стоимостных, рассматривая в качестве единицы измерения ущерба просрочку по времени – описываемый далее инструментарий сохранит актуальность при такой замене переменной.

В рисках же изменения содержания проекта нас в данной работе интересует стоимостная компонента; выгода или ущерб от изменения содержания без изменения стоимости остаются за рамками представленного здесь анализа.

### **Декомпозиция рисков по иерархической структуре работ**

Риски логично разбить по происхождению их источников: вне или внутри проекта. К первым относятся изменение макроэкономических условий (в частности, риски валютных курсов, инфляции), стихийные бедствия, пандемии, риски изменения законодательства, налогового и тарифного регулирования. Сюда также можно отнести ухудшение финансового состояния участников проекта по причинам, не связанным с проектом. К рискам второго рода, собственно проектным, можно отнести влияние всех неожиданных событий, напрямую связанных с местом и временем реализации проекта и работой над ним участвующих сторон.

Возможная классификация рисков (второго типа) связана с представлением проекта в виде иерархической структуры работ (далее – ИСР). Декомпозиция работ по проекту, обычно изображаемая в виде переверну-

того дерева – связного ациклического графа – в ИСР проводится до уровня пакетов работ, на котором возможны контроль и управление стоимостью и длительностью операций. Оптимальное структурирование в этой схеме существенно зависит от сложности и особенностей проекта.

Наиболее стандартная ИСР – трехуровневая. На верхнем уровне блоки соответствуют результатам, достигаемым на стадиях жизненного цикла проекта. На следующем уровне идет структурирование по производимым проектным продуктам. Третий уровень – классификация проводимых работ по функциональному признаку (или по видам деятельности).

Для каждого пакета работ на нижнем уровне ИСР можно рассмотреть риски, связанные с элементами его производственной функции, т. е.: риски стоимости труда и капитала и риски их производительности, риски стоимости материалов, риски задержек. Такой метод создания (предварительного) реестра рисков на основе ИСР называется методом «снизу вверх».

### **Международная классификация типовых рисков ГЧП**

В проектах ГЧП предполагается особое внимание к «рисковой составляющей» проекта, поскольку в юридически обязывающее соглашение между государственным и частным партнером входит разделение ответственности по определенному списку рисков. Тот или иной риск принимает на себя либо государственный партнер, либо частный, либо риск делится в некоторой пропорции, или в соглашении могут быть заданы пороговые значения, например, максимальные компенсации отдельных видов ущерба со стороны государства. Центральным принципом распределения риска между партнерами считается правило передачи его той стороне, которая способна лучше им управлять (см., например: Irwin, 2007).

В 2014 г. «Группа двадцати» (*The Group of Twenty, G20*) создала международную организацию – «Глобальный инфраструктурный центр»<sup>7</sup> – для поддержки реализации своей инфраструктурной повестки. Этим центром разработан и опубликован документ<sup>8</sup> «Инструмент распределения рисков ГЧП» – справочное руководство для правительств и других заинтересованных сторон при принятии решений о надлежащем распределении рисков проекта в проекте ГЧП, а также о мерах по снижению потенциальных рисков. Руководство состоит из аннотированных матриц распределения рисков для 18 отдельных типов проектов, в том числе: проект дороги, аэропорта, солнечных электростанций, больницы.

В принципе, эти матрицы уже дают реестр рисков для различных инфраструктурных проектов. Так, при строительстве автомобильных дорог рассматриваются 16 категорий, с дальнейшей детализацией:<sup>9</sup> 1) земельные; 2) социальные; 3) экологические; 4) риски проектирования; 5) риски строительства; 6) риски изменения требований; 7) операционные; 8) риски спроса; 9) риски финансовых рынков; 10) риски партнерства; 11) технологические;

<sup>7</sup> Global Infrastructure Hub. URL: <https://www.gihub.org/>.

<sup>8</sup> URL: <https://ppp-risk.gihub.org/>.

<sup>9</sup> URL: <https://ppp-risk.gihub.org/risk-allocation-matrix/transport/road/>.

12) форс-мажорные; 13) риски негативно влияющих действий правительства; 14) законодательные; 15) преждевременного завершения; 16) риски обратной передачи активов.

Аналогичную (более общую) классификацию рисков проектов ГЧП можно найти в «Модели оценки бюджетных рисков проектов ГЧП» (*PFRAM*<sup>10</sup>), разработанной совместно подразделениями<sup>11</sup> МВФ и Всемирного банка, ответственными за бюджетную политику и решения по ГЧП. Эта модель была создана для систематической оценки потенциальных воздействий проектов ГЧП на бюджетные показатели. Модель *PFRAM* (см.: официальное руководство<sup>12</sup>) при интерактивном взаимодействии с пользователем помогает выявить наиболее существенные бюджетные риски в ходе реализации проектов ГЧП и выработать меры их смягчения.

### **Системные и специфические для проекта риски**

Важен также подход к классификации рисков проекта на основе возможности их корректного оценивания. Он может быть реализован с помощью так называемого гибридного метода, предложенного в работах Дж. Холлмана (см., например: Hollmann, 2016). В рамках этого подхода проводится разделение рисков проекта на специфические (для проекта) и системные; утверждается, что если первые можно оценивать экспертным образом, то для вторых предпочтительнее строить параметрическую оценку по историческим данным.

Системные риски можно охарактеризовать (*AACE*<sup>13</sup>, 2019) как неопределенности (угрозы или возможности), свойственные той или иной: отрасли, компании, культуре управления, степени сложности, технологии и др. Среди них Дж. Холлманн (Hollmann, 2016, с. 48.) выделяет, прежде всего, риски: определения границ и охвата проекта; его сложности (в отношении технологий и условий работ); уровня контроля и управления проектом. В базовой модели (Hollmann, 2014, табл. 5) эти и дополнительные системные неопределенности оцениваются по категориальной шкале с применением специальных коэффициентов, позволяющих рассчитать отклонения стоимости за счет системных рисков. Общая модель дополняется рисками, специфическими для проекта, которые можно оценить экспертным и имитационным способом.<sup>14</sup>

Указанный подход рекомендуется *AACE*<sup>15</sup> и в ряде работ (см., например: Raydugin, 2018) признается значительным шагом вперед в практике оценивания рисков.

<sup>10</sup> Public-Private Partnerships Fiscal Risk Assessment Model.

<sup>11</sup> Fiscal Affairs Department, IMF и PPP-CCSA (Public-Private Partnerships Cross-Cutting Solutions Area), World Bank Group.

<sup>12</sup> Public-Private Partnerships Fiscal Risk Assessment Model. User Guide. IMF, World Bank, April, 2016. URL: <https://www.imf.org/external/np/fad/publicinvestment/pdf/PFRAMmanual.pdf>.

<sup>13</sup> Международная ассоциация развития стоимостного инжиниринга (Association for Advancement of Cost Engineering).

<sup>14</sup> Подробнее о методах такой оценки см. далее.

<sup>15</sup> Международная ассоциация развития стоимостного инжиниринга (Association for Advancement of Cost Engineering).

### Изучение рисков проектов ГЧП в эмпирических исследованиях

Есть также направление исследований, в рамках которого к достаточно широкому списку возможных рисков проектов ГЧП (априори известных из литературы) применяется метод анкетных экспертных опросов, после чего результаты анкетирования обрабатываются различными статистическими процедурами методами нечеткой логики. Нечеткую логику принято<sup>16</sup> использовать как инструмент оценки рисков, которые затруднительно (и не вполне корректно) оценивать однозначно.<sup>17</sup> В результате делаются выводы об относительной важности тех или иных рисков, их взаимосвязи, о готовности сторон проекта ГЧП их принимать.

Например, в работе (Li, Zou, 2012) был предложен подход с комбинированным применением метода анализа иерархий и метода нечеткой логики для оценки рисков ГЧП-проектов. В качестве иллюстрации авторы провели экспертное анкетирование и ранжировали риски проекта строительства ж/д линии, предварительно разделив их по шести фазам выполнения проекта (подготовка обоснования, финансирование, проектирование, строительство, эксплуатация, обратная передача).

В работе (Wu et al., 2017) по оценке рисков проектов ГЧП в Китае из области альтернативной энергетики (на основе переработки соломы) были определены 44 фактора риска. Из них на основе проведенного опроса 19 были отмечены как критические факторы риска и образованы четыре группы рисков.

Наиболее значимым оказался риск вмешательства правительства, и наиболее значимой группой рисков – риски частного партнера. Авторы рассчитали такие показатели, как: вероятность реализации рисков, величина их воздействия, интегральный уровень риска с применением метода нечеткой синтетической оценки.

В недавнем российском исследовании (Савруков и др., 2020) ставилась задача идентификации наиболее значимых рисков проектов ГЧП. Авторы анализировали данные опроса экспертов по оценке 52 факторов риска и общего уровня риска в проектах ГЧП на российских данных с применением методов нечеткой логики. В пятерку самых значимых рисков по интегральному показателю (среднее геометрическое вероятности реализации и уровня ущерба при реализации) вошли следующие (см.: там же):

- 1) некорректная оценка параметров проекта;
- 2) тарифный риск;
- 3) пересмотр стоимости проекта;
- 4) перенос сроков строительства;
- 5) изменение спроса на услуги.

Недостатком этого подхода представляется наличие в одном списке рисков разного уровня агрегации: ясно, например, что увеличение стоимости проекта, как и его задержка, могут произойти по комплексу причин разного рода – и это априори придает им вес.

<sup>16</sup> См.: (Wang Y.M. et al., 2007).

<sup>17</sup> По сути, это некоторая альтернатива рассмотрению вероятностных распределений рисков.



В результатах работы был отмечен высокий интегральный уровень риска российских проектов ГЧП, а также выявлено, что в списке наиболее значимых факторов риска в проектах ГЧП доминируют специфические для проекта или для отрасли.

В другой недавней работе авторов из КНР (Wang et al., 2020) был испробован новый подход: ими исследовались 20 факторов риска в проектах ГЧП, выявленных в структурированных интервью, с применением к ним техники анализа социальных сетей. Это позволило разделить факторы риска на ключевые независимые и факторы риска, подверженные влиянию; последние могут быть проводниками «эффекта домино» при реализации рисков.<sup>18</sup>

## PMBOK

Рассмотрение авторитетных международных источников начнем с руководства *PMBOK* (Свода знаний по управлению проектами).<sup>19</sup> В 2012 г. процессы управления проектами, описанные в этом руководстве (4-е издание, 2008), были использованы Международной организацией по стандартизации (далее – ИСО (*International Organization for Standardization, ISO*)) для подготовки семейства стандартов<sup>20</sup> по управлению проектами. Поэтому неудивительно (как будет видно из дальнейшего), что подходы, принятые на вооружение рядом развитых стран, имеют много общего с рекомендациями этого документа.

Руководство *PMBOK* приложимо к самым различным проектам, не только крупным инфраструктурным и не только с госучастием, описывая лучшую практику по управлению ими (с оговоркой, что приложение этих навыков, инструментов и методов может варьироваться в зависимости от особенностей проекта).

Управление рисками по *PMBOK* – один из столпов науки управления проектами. Количественный анализ рисков – один из подразделов этого большого раздела, следующий за качественным анализом риска. Для выработки действенной политики снижения рисков иногда может быть достаточен их качественный анализ.

По количественному анализу рисков *PMBOK* рекомендует<sup>21</sup> ряд инструментов и методов, касающихся: 1) сбора и представления информации; 2) анализа чувствительности и относительной значимости рисков; 3) моделирования и имитации.

<sup>18</sup> Примером характерной цепочки реализации рисков ГЧП служит следующий: в результате изменений законодательства снижается кредитный рейтинг правительства; это, в свою очередь, повышает кредитный риск.

<sup>19</sup> *PMBOK – Project Management Body of Knowledge* – основной документ Института управления проектами (*Project Management Institute, PMI*) – всемирной некоммерческой профессиональной организации по управлению проектами.

<sup>20</sup> Основной из них – ISO 21500:2012.

<sup>21</sup> *Project Management Institute, Руководство к Своду знаний по управлению проектами (Руководство PMBOK®)*. Четвертое издание, 2008.

В сборе и представлении информации по рискам проекта считается хорошей практикой метод экспертных опросов. При этом для построения моделей распределений отдельных рисков (таких как треугольное или бета-распределение) необходимо собрать информацию об оптимистическом (превышаемом с заданной низкой вероятностью), пессимистическом (превышаемом с заданной высокой вероятностью) и наиболее вероятном сценариях.

В моделировании основная рекомендация – метод Монте-Карло: многократный итеративный расчет модели проекта, при котором для каждой итерации оценки отдельных рисков (стоимости либо длительности) выбираются как случайные реализации их вероятностных распределений.

Количественный анализ рисков, проведенный таким образом, дает возможность оценить удельный вес всех компонент риска, построить кумулятивную функцию распределения для условной стоимости проекта и с помощью нее указать пороговые уровни стоимости, не превышаемые с заданной вероятностью. Это дает инструментарий и для определения резервов на возможные потери: например, их консервативный объем может соответствовать уровню СС, не превышаемому с вероятностью 75%.

## Подходы ряда развитых стран к оценке стоимости проектов с учетом реализации рисков

Руководство *РМВОК* описывает пять этапов управления рисками: планирование, идентификация, качественный анализ, количественный анализ, подготовка мер реагирования. Для относительно сложных проектов в количественный анализ рисков рекомендуется включать вероятностное моделирование. Рассмотрим тематические официальные документы ряда развитых стран: все они более или менее следуют этому подходу.

### Европейский союз

Документ<sup>22</sup> Европейской комиссии (European Commission, 2014) был разработан с целью описания объективных и проверяемых методов, способствующих принятию решений в области инвестиционной политики. В период 2014–2020 гг. основные правила проведения анализа затрат и выгод (*Cost-Benefit Analysis* (далее – *СВА*)) были включены в свод вторичного законодательства и стали обязательными для всех бенефициаров.<sup>23</sup>

Анализ затрат и выгод разбивается на семь этапов, один из которых (последний) – анализ рисков.<sup>24</sup> Его включение в *СВА* законодательно необходимо; этот анализ должен касаться не только угроз собственно для проекта, но, в том числе, влияния проекта на изменение климата. Рекомендуемые

<sup>22</sup> Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects. European Commission, Dec 2014. URL: [https://ec.europa.eu/regional\\_policy/sources/docgener/studies/pdf/cba\\_guide.pdf](https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/studies/pdf/cba_guide.pdf).

<sup>23</sup> Анализ затрат и выгод (*СВА*) законодательно необходим, в частности, как основа для принятия решений о финансировании крупных проектов, включенных в программы Европейского фонда регионального развития (*ERDF*) и Фонда сплочения (*European Regional Development Fund; Cohesion Fund*).

<sup>24</sup> (European Commission, 2014, p. 29).

шаги в рамках этого этапа: анализ чувствительности, качественный и количественный анализ рисков, меры по их предотвращению и смягчению.

Анализ чувствительности выявляет критические переменные – изменения которых наиболее значимо влияют на ключевые показатели проекта. Как правило, это выражается в том, что эластичность (*Net Present Value* (далее – *NPV*)) по ним больше 1. Тестируемые критические переменные должны быть насколько возможно независимы и максимально дезагрегированы.

Далее проводится качественный анализ рисков. На этом этапе риски оцениваются на категориальном уровне, после чего формулируются превентивные и смягчающие меры, сопоставимые с серьезностью риска. Если уровень риска, остающийся после этого, оценивается как существенный, должен быть проведен вероятностный анализ (в противном случае вероятностный анализ может применяться по мере необходимости).

При вероятностном анализе каждой критической переменной из анализа чувствительности приписывается распределение вероятностей, определяемое как диапазон значений вокруг базовой (точечной) оценки стоимости. Это распределение может быть рассчитано экспериментально или взято из опубликованных исследований в данной области и т.п. Ошибочный выбор может привести к некорректной оценке, но в простейшей форме (например, для треугольного распределения) он обоснован, доступен и дает улучшение понимания условной стоимости рисков проекта по сравнению с базовой (точечной) оценкой.

После задания распределения вероятностей для критических переменных можно сгенерировать распределения вероятностей для финансовой нормы прибыли (*Financial Rate of Return* (далее – *FRR*)) или чистой приведенной стоимости (*NPV*) проекта. Для этих целей используется метод Монте-Карло, применение которого требует относительно простого программного обеспечения.<sup>25</sup>

### **Великобритания**

Официальные подходы к оценке инфраструктурных проектов, принятые в Великобритании, можно проследить как по общей, так и по специализированной методике. Так, «Зеленая книга» (*Green Book*, 2020) – руководство по вопросам сравнительной оценки программ и проектов, подготовленное Казначейством Великобритании, применяется при рассмотрении всех предложений, которые касаются правительственных расходов, налогообложения, а также изменений в регулирующих правилах и порядке использования общественных активов и ресурсов. Во главу угла ставится эффективность с позиций экономики благосостояния (не просто рыночной экономики), включающая в анализ социокультурные, природоохранные воздействия, вопросы здравоохранения, справедливости и безопасности.

Производится сравнительная оценка путей достижения целей правительства. И в этом процессе предусмотрен двухэтапный подход: первый этап состоит в обосновании финансового участия государства, формирова-

<sup>25</sup> Программные аспекты применения метода Монте-Карло обсуждаются в Приложении 1.

нии длинного списка альтернатив и сокращения его до короткого с использованием ряда критериев; второй этап включает детализированную оценку в рамках короткого списка с применением социального анализа затрат-выгод или социального анализа эффективности затрат. Неотъемлемой частью последнего является анализ рисков и неопределенностей, а также коррективы оценок на оптимистическую предвзятость.

Руководство рекомендует структурированный подход к управлению рисками и проведение в целях оптимизации социальной выгоды активного управления рисками, пропорционального их значимости. Хорошей практикой признается идентификация рисков на ранней стадии и создание механизмов для минимизации их вероятности реализации с негативными эффектами. Соответственно, оценка должна включать возможные меры исключения риска, смягчения и передачи рисков и стоимость этих мер. Реестр рисков должен быть создан в период, когда планируется участие государства в финансировании, и вестись в течение реализации проекта.

Вероятностный анализ рисков с помощью техники Монте-Карло рекомендуется в тех случаях, когда ключевые показатели проекта подвержены рискам, при том что комплекс мероприятий по предотвращению таких рисков в значительной мере неосуществим или нерентабелен.

По оценке инфраструктурных программ и проектов «Зеленая книга» дополняется отдельным, более специализированным руководством (Green Book Supplementary Guidance, 2015), в котором сформулирован ряд базовых принципов, в том числе отказ от точечной оценки стоимости на ранней стадии в пользу оценки диапазона возможных значений. Другой базовый принцип – объединение оценки стоимости и оценки рисков. Практическая рекомендация по его применению – использование «трехточечной» оценки каждого риска (по сценариям: оптимистический, наиболее вероятный, пессимистический) и техники Монте-Карло для оценки их совокупного воздействия. Рекомендовано также использование аналогичного подхода для оценки рисков временного графика реализации проекта.

## США

Руководство Счетной палаты США по оценке стоимости (USGAO, 2009) содержит лучшие практики в сфере управления стоимостью инвестиционных программ. Они собраны в единую последовательность установившихся и воспроизводимых методов, которые приводят к качественным оценкам стоимости проекта. Эти оценки можно легко проверять, повторять и обновлять. Рекомендованный алгоритм получения обоснованной и достоверной оценки стоимости (инфраструктурного проекта) состоит из 12 этапов (там же, с. 8–13).

Первые семь относятся к подготовке и получению базовой (или точечной) оценки стоимости (т.е. ВС, в терминах упомянутого во введении разбиения совокупной стоимости проекта) и сравнению ее с независимо проведенной альтернативной оценкой. Восьмой этап предписывает провести анализ чувствительности, который состоит в оценке изменений компонент стоимости проекта при изменении входящих параметров и ключевых предположений, выявление наиболее значимых взаимосвязей такого рода.

«Анализ рисков и неопределенностей» (девятый этап) состоит из следующих шагов:

- определение и обсуждение с экспертами уровня затрат, расписания проекта и технических рисков, связанных с каждым из элементов иерархической структуры работ (ИСР);
- анализ каждого риска в отношении потенциального ущерба и вероятности реализации;
- определение минимума, моды и максимума для каждого риска; выбор вида распределения риска и формулировка обоснования его использования;
- учет корреляций между рисками;
- использование приемлемого метода статистического анализа (например, симуляций Монте-Карло) для получения доверительного интервала вокруг базовой оценки; определение доверительного уровня базовой оценки;
- определение объема резервирования на условные обязательства и, при добавлении его к базовой стоимости, получение оценки стоимости с поправкой на риск.

После этого проводится подготовка рекомендаций для управляющей компании по мониторингу и смягчению рисков.

### **Австралия**

Министерство инфраструктуры, транспорта, регионального и городского развития Австралии располагает развернутым руководством и официально опубликованным руководством по оценке стоимости проектов (Australian Government, 2018). Оценка стоимости должна проводиться для всех инфраструктурных проектов, претендующих на финансовую поддержку государства. Проекты принято разделять на несколько стадий или фаз жизненного цикла, перед каждой из них подписывается соглашение о финансировании, которое опирается на соответствующую оценку стоимости.

Стадии выполнения проектов таковы: а) идентификация – изучение большого числа вариантов решения конкретной проблемы; б) определение границ или охвата; в) разработка – согласование во всех деталях, подготовка бизнес-плана; г) строительство; д) завершающая стадия – все виды деятельности по окончании строительства и до закрытия проекта.

Стоимость проекта представляет собой сумму: (1) базовой стоимости (точечная оценка); (2) условной (с учетом ожидаемой реализации рисков); и (3) изменения стоимости за счет инфляционных факторов. Для оценки каждой из этих компонент есть отдельные методологические руководства.<sup>26</sup> В особенно важном для нас пункте (2) рекомендованы два способа оценки: детерминистический (с использованием предопределенных интервалов, отражающих уровни риска) и вероятностный (с использованием имитационного моделирования реализации рисков).

<sup>26</sup> URL: [https://investment.infrastructure.gov.au/about/funding\\_and\\_finance/cost\\_estimation\\_guidance.aspx](https://investment.infrastructure.gov.au/about/funding_and_finance/cost_estimation_guidance.aspx).

Ключевыми показателями при оценке стоимости считаются, наряду с базовой оценкой стоимости, оценки уровней P50 и P90 (т.е. значения стоимости с учетом реализации рисков, не превышаемые с вероятностью 50 и 90% соответственно). По резервированию средств на непредвиденные потери не предлагается жесткого правила: уровни P50 и P90 дают ориентиры для него со средним и высоким уровнем консервативности.

Вероятностный подход для оценки стоимости, связанной с реализацией рисков, законодательно необходим для всех достаточно объемных проектов с госучастием.<sup>27</sup> Для менее крупных проектов допустима оценка детерминистическим методом, однако и в этом случае указана методология,<sup>28</sup> которая позволяет провести приблизительный расчет уровней P50 и P90.

Руководство по вероятностной оценке рисков проекта содержит описание приемлемых подходов к структурированию рисков, из которых предпочитают два: метод факторов риска (рекомендуемый в этом руководстве в первую очередь) и упомянутый выше гибридный метод Дж. Холлмана. Метод факторов риска предполагает оценку по трем точкам (оптимистический сценарий с шансами<sup>29</sup> 1:10, наиболее вероятный, пессимистический с шансами 1:10) процентных отклонений от некоторых базовых компонент стоимости, вызванных рядом ключевых рисков.

Для вероятностного анализа предпочтительно выбирать не слишком много ключевых рисков (последнее затруднило бы спецификацию их корреляций), предпочтительнее – в диапазоне от 20 до 40. При моделировании рисков рекомендуются две основные формы вероятностного распределения: бета-распределение или близкое к нему по форме треугольное распределение, либо их практические модификации.<sup>30</sup>

Спецификация ключевых рисков проекта и их «трехточечная» оценка проводятся на специальных экспертных семинарах.<sup>31</sup> Затем с помощью имитационного моделирования Монте-Карло вычисляется распределение стоимости проекта, результаты документируются (как и обоснования решений, принятых на экспертных семинарах). Помимо основных показателей P50 и P90, документация включает график распределения стоимости в виде S-кривой и ряд диаграмм типа «торнадо» для иллюстрации воздействия каждого из ключевых рисков.

<sup>27</sup> Приведенное в (Australian Government, 2018) значение порога – 25 млн австралийских долларов, что соответствует примерно 1,45 млрд руб.

<sup>28</sup> URL: [https://investment.infrastructure.gov.au/files/cost\\_estimation\\_guidance/Guidance-Note-3B-Version-1.0.pdf.0000](https://investment.infrastructure.gov.au/files/cost_estimation_guidance/Guidance-Note-3B-Version-1.0.pdf.0000).

<sup>29</sup> Более формально: такое численное значение показателя риска, что вероятность столь же или более оптимистических значений равна 0,1. Аналогично для пессимистического сценария.

<sup>30</sup> Бета-распределение со средним значением в стандартной форме (таким же, как у треугольного распределения с теми же минимумом, максимумом и модой) известно под именем PERT-распределения; треугольное распределение (triangle distribution), в котором в качестве параметров задаются проценты, в некоторых работах и программных пакетах называется trigen-distribution (вариант перевода: триангулярное распределение).

<sup>31</sup> (Australian government, 2018). Probabilistic Contingency Estimation. Guidance Note 3A. Ch.5. Conducting risk workshops.

## Официально рекомендованные принципы оценки рисков инфраструктурных проектов в России

Прежде всего, существуют принятые в России стандарты управления проектами, идентичные или близкие международным. Можно упомянуть «Требования к управлению проектом»,<sup>32</sup> а также более новый – «Руководящие указания по менеджменту качества в проектах».<sup>33</sup> Первый документ предусматривает проведение оценки и ранжирование по вероятности и влиянию на результат всех идентифицированных рисков. Второй содержит требование качественного анализа рисков, рекомендуя (по возможности) и количественный анализ; хотя, косвенно, количественный подход может требоваться для предписанного учета остаточных рисков.

Рассмотрим теперь три официальных документа из числа основных по изучаемой теме: методические указания по обоснованию инвестиционного проекта (Минэкономразвития, 2013; Методика-741), Правила ВЭБ финансирования инфраструктурных проектов,<sup>34</sup> Методика-894 (Минэкономразвития, 2015).

Каковы основные положения этих документов, касающиеся оценки воздействия рисков на стоимость проекта? Прежде всего, важно, что все указанные инструкции предписывают обязательную подготовку развернутой финансовой модели проекта в *MS Excel*, что, в частности, позволяет проверять чувствительность показателей инвестиционной привлекательности проекта к различным параметрам и прогнозным предположениям. Помимо этого, предписан качественный анализ рисков со спецификацией ряда обязательных направлений и анализ чувствительности показателей, в том числе стоимости проекта, к различным рискам.

В требованиях Методики-741 по комплексному обоснованию инвестиционного проекта (которое оценивается по 100-балльной шкале) четверть всех баллов начисляется по этому направлению. Методика требует обсуждения рисков нескольких основных видов (рыночный, контрактный, недофинансирования, технологический и т.д.), а также количественного анализа чувствительности по ряду показателей. Обязательные для анализа источники неопределенности – ставка дисконтирования, цена продукта (услуги), цены основных ресурсов, объем продаж после выхода на проектную мощность, срок запуска производства, объем капитальных затрат, курсы обмена валют.

В качестве тестируемых финансовых показателей инвестиционного проекта используются при этом: чистая приведенная стоимость проекта, дисконтированный срок окупаемости, внутренняя норма доходности для собственников, коэффициент покрытия выплат. Степень воздействия рисков измеряется по категориальной шкале.

<sup>32</sup> ГОСТ Р 54869-2011, введен 2012-09-01.

<sup>33</sup> ГОСТ Р ИСО 10006-2019, введен 2020-10-01.

<sup>34</sup> URL: <https://вэб.пф/бизнесу/finansirovaniye-proyektov/infrastruktura/>; <https://вэб.пф/бизнесу/finansirovaniye-proyektov/infrastruktura/#docs-section>.

Документация ВЭБ, содержащая требования к заявкам на финансирование инвестиционных проектов, в части требований к бизнес-модели и финансовой модели проекта включает положение о содержательном обосновании рисков проекта, оценке вероятности реализации и о способах управления. Предусмотрены также: создание карты рисков проекта, стресстестирование рынка по наиболее значимым факторам риска и разработка предложений по минимизации выявленных рисков проекта.

Финансовая модель проекта должна содержать расчет целого ряда основных показателей: чистой приведенной стоимости проекта, дисконтированного периода окупаемости, внутренней нормы доходности для всех участников и для собственников, чистого дисконтированного бюджетного эффекта, коэффициента покрытия выплат по обслуживанию долга, показателей рентабельности и др.

Методика-894 рассматривает оценку проектов на предмет сравнительного преимущества ГЧП перед государственным контрактом и наоборот. Эта методика, как и две вышеупомянутые, требует обязательной разработки финансовой модели проекта и представления ее в *MS Excel*. Она включает также оценочный расчет обязательств, принимаемых публичным партнером в случае возникновения рисков. Суммарный объем этих обязательств оценивается в виде дисконтированной суммы (по годам) пяти слагаемых (рассчитываемых для каждого года реализации проекта). Эти пять слагаемых – средние ожидаемые потери по пяти категориям риска; они рассчитываются как произведение базовой величины расходов по этим направлениям на оценку вероятного процентного отклонения в пределах задаваемых интервалов, как указано в приведенной ниже Таблице.

Таблица

**Допустимые значения вероятных отклонений, учитываемых при расчете принимаемых публичным партнером обязательств, %**

	Виды рисков	Допустимые значения вероятных отклонений
1	Риски создания объекта	5–12
2	Риски проектирования и подготовительных мероприятий	7–15
3	Риски эксплуатации объекта	15–25
4	Риски получения дохода от использования объекта	20–40
5	Прочие риски	5–10

*Источник:* (Министерство экономического развития РФ, 2015, Приложение 7).

Точные значения внутри этих интервалов методика предписывает определять на «основании технико-экономических параметров проекта», однако при этом не обозначен какой-либо объективный и проверяемый способ получения этих значений.



В итоге получается оценка средних ожидаемых условных обязательств публичного партнера. То есть среднее значение соответствующей случайной величины – основная, но далеко не исчерпывающая ее характеристика.

Потенциальная эффективность оценок стоимости крупных инфраструктурных проектов с госучастием повышается за счет введения с 2013 г. процедуры обязательного публичного технологического и ценового аудита (далее – ТЦА).<sup>35</sup> При этом ТЦА призван не только обнаруживать недоучет рисков, но и выявлять неоправданные затраты; важно и то, что при проведении ТЦА обеспечивается публичное обсуждение<sup>36</sup> обоснования инвестиций. Так, аудит, проведенный компаниями *Deloitte*, *EY* и *PwC* для проекта РЖД по реконструкции БАМа и Транссиба, привел к существенному сокращению сметы проекта.<sup>37</sup> Однако положение об обязательном ТЦА было приостановлено<sup>38</sup> до конца 2024 г.

### Анализ отличий российских методик от международного опыта и рекомендации в отношении вероятностного моделирования

Различия российских и международных подходов несложно проследить из сопоставления их рекомендаций по пяти упомянутым этапам управления рисками: планированию, идентификации, качественному анализу, количественному анализу, подготовке мер реагирования.

Можно видеть, что российские руководства по обоснованию инвестиционных (инфраструктурных) проектов с госучастием, уделяя серьезное внимание анализу рисков, предписывают в основном их качественный анализ. Количественный же анализ рисков ограничивается проверкой чувствительности к отдельным параметрам и отчасти совокупной оценкой рисков детерминистическим способом. О комплексном вероятностном моделировании воздействия рисков на стоимость проекта (и другие ключевые показатели) речь не идет.

Между тем реализуемые в Российской Федерации инфраструктурные проекты нередко весьма объемны (со сметой в десятки миллиардов рублей и более) и длительны (с жизненным циклом 10 лет и более), и рассчитывать на минимизацию непредвиденного ущерба на основе выводов только качественного анализа рисков в таких сложных случаях не приходится.

Кроме того, несмотря на требуемое подробное обсуждение рисков, заинтересованные стороны, судя по всему, остаются без ответов на не-

<sup>35</sup> Правительство Российской Федерации. Постановление от 30 апреля 2013 г. N 3820 «О проведении публичного технологического и ценового аудита крупных инвестиционных проектов с государственным участием и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации». URL: <https://docs.cntd.ru/document/499018667>.

<sup>36</sup> За исключением случаев, когда представленные для проведения ТЦА ОИ документы содержат сведения, доступ к которым ограничен в соответствии с законодательством Российской Федерации.

<sup>37</sup> URL: <https://www.rbc.ru/magazine/2016/03/56cdd4199a79478601346800>.

<sup>38</sup> URL: <https://gge.ru/services/audit/>.

которые важные вопросы, например: какова вероятность того, что базовая оценка чистой приведенной стоимости проекта не будет превышена? Между тем если эта вероятность мала, строить на основе такой оценки прогнозы или бюджетные планы – опрометчиво.

Остановимся коротко на способе оценки влияния рисков с использованием априорных интервалов для процентных изменений базовых величин, что предписывается Методикой-894. Он известен в литературе по управлению рисками как «детерминистический подход» и признается полезным в рамках упрощенной оценки рисков, но содержательно уступающим вероятностному методу (поэтому в описанной выше австралийской методологии рекомендуется только для небольших проектов). Детерминистический подход не дает информации о комплексном воздействии различных рисков и (при простом использовании) не позволяет сделать заключений о доверительных уровнях P50 и P90. Например, в работе Т. К. Геберемариам (Geberemariam, 2020), посвященной сопоставлению детерминистического и вероятностного методов (с обширным обзором литературы), отмечено, что детерминистические оценки нелегко адаптировать при обновлении информации о неопределенных факторах проекта. Сделан вывод, что хорошие оценки могут быть получены только при использовании вероятностного подхода, что не означает полного отказа от детерминистического; последний имеет смысл использовать как вспомогательный этап вероятностного анализа.

Изучение рекомендаций международной практики по количественной оценке рисков проекта и сопоставление их с официальными российскими стандартами приводит к выводу о необходимости усовершенствования последних. Возможно, наиболее удобный пример дает австралийская методика – в открытом доступе есть детальная документация по ее приложению, включающая разбор типичных концептуальных и организационных ошибок. При этом возникает вопрос об использовании программного обеспечения для проведения испытаний Монте-Карло. В Приложении 1 указан ряд используемых для этой цели рыночных продуктов, а также предложены пути решения принципиальных вопросов, возникающих при непосредственном программировании этого процесса в *MS Excel*.

В качестве иллюстрации в Приложении 2 приведен расчет влияния рисков на стоимость проекта на примере проекта ЦКАД-1 (на основе предположений, использующих открытую информацию). Результаты включают удельные веса влияния ряда рисков и доверительные уровни максимальных потерь при реализации рисков с вероятностью 50 и 90%.

## Заключение

В настоящей статье рассмотрены подходы к оценке влияния рисков на стоимость инфраструктурных проектов с государственным участием. Этот вопрос естественно вписывается в тему повышения объективности оценки проектов на разных этапах – одну из включаемых в общую повест-

ку повышения эффективности инфраструктурных инвестиций.<sup>39</sup> Другие темы этой повестки касаются:

- улучшения планирования;
- большего использования модернизации вместо строительства новых объектов;
- мониторинга и ведения контрактов, основанных на результативности;
- снижения административных издержек;
- развития привлечения частного капитала (Морозкина, 2015).

Мы рассмотрели подходы к решению изучаемых проблем, признанные лучшей практикой в ряде авторитетных международных источников. Все они рекомендуют – в особенности для масштабных и долгосрочных инфраструктурных проектов – использовать имитационное моделирование воздействия рисков на стоимость (и другие основные показатели проекта) по методу Монте-Карло. Российские официальные методики, уделяя серьезное внимание построению финансовой модели проекта, качественному анализу основных рисков, анализу чувствительности результирующих показателей проекта к каждому риску, не включают этот инструментарий. В итоге обоснования крупных российских инфраструктурных проектов, насколько можно судить, не дают ответа на ряд существенных вопросов, например: какова оценка вероятности превышения ожидаемой стоимости проекта (всего либо для частного или публичного партнера) или какова оценка максимальных (при заданной вероятности 50 или 90%) стоимостных потерь от реализации известных рисков.

В связи с этим для улучшения российской практики считаем необходимым усовершенствовать методические материалы и требования к оценке инфраструктурных проектов с госучастием включением в них положений об обязательной количественной оценке стоимостных рисков на основе вероятностного моделирования по методу Монте-Карло (если базовая оценка стоимости превосходит некоторую пороговую величину). В простом случае – в рамках расширения уже требуемой финансовой модели проекта в *MS Excel*. Соответственно, принятие властями решения о финансировании крупных инфраструктурных проектов должно опираться, в том числе, на модельно обоснованные оценки его ожидаемой стоимости при реализации рисков, дающие не только интервал колебаний стоимости, но и ожидаемые затраты с вероятностью 50 или 90%. Подобные оценки следует повторять в начале каждой стадии жизненного цикла проекта.

В качестве примерной иллюстрации такого подхода автором был проведен модельный расчет воздействия рисков на показатели одного из последних инфраструктурных проектов, реализуемых в форме ГЧП – ЦКАД-1. При сделанных предположениях расчет показал значительную (порядка 78%) вероятность превышения ожидаемой стоимости (баланса доходов и расходов) проекта для публичного партнера и ключевую роль тарифного риска, т.е. более низких, чем предусмотрено прогнозом, дорожных сборов.

<sup>39</sup> Помимо прочего, Россия участвует в международном сотрудничестве в направлении повышения эффективности инвестиций в инфраструктуру в рамках «Глобальной инфраструктурной инициативы», реализуемой с 2014 г. Большой двадцаткой.

## Как организовать вероятностное моделирование

Рассмотрим, как на практике может быть проведено моделирование испытаний Монте-Карло. Входными данными такой модели служит полученный в результате работы группы экспертов список рисков проекта и оценка их по трем сценариям (оптимистический 1:10, наиболее вероятный, пессимистический 1:10).

В документации правительства Австралии упоминается надстройка для *MS Excel* – *@Risk*<sup>40</sup>, существуют также *Excel*-надстройки *ModelRisk*<sup>41</sup>, *RiskAmp*<sup>42</sup> и другие программные пакеты. Надстройки для *Excel* особенно интересны в связи с тем, что российское законодательство требует разработки финансовой модели проекта в *Excel*, соответственно, такие надстройки могли бы естественно интегрироваться в финансовую модель.

В то время как на фоне масштабов инфраструктурного проекта приобретение коммерческого пакета программ не составляет значимых затрат, отметим, что базовый инструментарий для анализа несложно получить и на основе стандартных средств *MS Excel*. Для этого требуется решить несколько задач технического характера.

### **Параметры треугольного распределения**

Напомним, что треугольным называется непрерывное распределение вероятностей одномерной случайной величины, ограниченной сверху и снизу, задаваемое тремя точками – минимумом, максимумом и наиболее вероятным значением (модой), так что график плотности распределения представляет собой треугольник.

В контексте программной реализации заданных сценариев оценки рисков первый вопрос касается восстановления параметров треугольного (*trigen-distribution*) по известным процентилям (найти абсолютные минимум и максимум треугольного распределения по неполным минимуме и максимуму – так что отсекаемые или хвосты распределения слева и справа имеют заданные вероятности  $p_1$  и  $p_2$ , в базовом случае  $p_1 = p_2 = 0,1$ ). Другими словами, требуется реализация в *Excel* треугольного распределения.

Для решения этой задачи разделим график плотности треугольного распределения на два прямоугольных треугольника, расположенных слева и справа от вершины (моды). Площадь левого треугольника, равная вероятности исхода меньшего, чем мода, обозначим через  $S$ , тогда площадь правого треугольника, по свойству плотности, составит  $1 - S$ . Несложно вывести, что при заданных разницах: 1)  $u$  – моды и оптимистического сценария, ре-

<sup>40</sup> URL: <https://www.palisade.com/risk/ru/>.

<sup>41</sup> URL: <https://www.vosesoftware.com/products/modelrisk/>.

<sup>42</sup> URL: <https://www.riskamp.com/>.

лизующегося с вероятностью  $p_1$ , и 2)  $v$  – пессимистического сценария, с вероятностью  $p_2$ , и моды; – площадь  $S$  удовлетворяет уравнению:

$$v \cdot (S - \sqrt{Sp_1}) = u \cdot ((1-S) - \sqrt{(1-S)p_2})$$

При этом возможные значения  $S$  принадлежат отрезку  $[0,1]$ . Для численного решения этого уравнения (относительно  $S$ ) с заданной высокой точностью, например, методом бисекции, можно написать в *Excel* пользовательскую функцию (либо адаптировать для этих целей решатель в предустановленной надстройке *Excel* «Анализ данных»). Параметры треугольного распределения выражаются через найденное значение  $S$  простыми формулами (можно воспользоваться подобием процентильных треугольников и треугольников слева и справа от моды).

### ***Имитация случайных величин с заданным распределением***

Вторая задача касается моделирования реализаций треугольной случайной величины. Ее тоже можно решить стандартными средствами *Excel*, пользуясь функцией СЛЧИС(), генерирующей равномерные случайные величины.<sup>43</sup> С ее помощью можно моделировать случайные величины не только с равномерным распределением, но и с любым непрерывным законом распределения  $F(x)$ , поскольку в этом случае существует обратная функция  $F^{-1}(y)$ , и оказывается, что если  $\xi$  – случайная величина, равномерно распределенная на  $[0,1]$ , то случайная величина

$$F^{-1}(\xi)$$

удовлетворяет закону распределения  $F(x)$ . Полезно и обратное утверждение: если  $\xi$  – случайная величина с непрерывной функцией распределения  $F(x)$ , то ее преобразование своей же функцией распределения  $F(\xi)$  будет случайной величиной, равномерно распределенной на промежутке  $[0, 1]$  (доказательство этих утверждений см., например, в (Ермаков, 2009, с. 36)).

### ***Моделирование коррелированных случайных величин***

Ключевые риски проекта рекомендуется выбирать для анализа так, чтобы минимизировать их взаимозависимость, однако это не всегда возможно. В частности, отдельные виды рисков часто положительно коррелированы из-за общих макроэкономических условий или из-за того, что относятся к одной стадии проекта. Один из подходов учета корреляций между рисками при количественном анализе – спецификация матрицы корреляций на основе априорных обоснований тесноты связи между рисками по категориальной шкале (например, полагая корреляцию равной 0,25, 0,5 или 0,75, если есть основания считать связь слабой, умеренной или сильной) (подробнее об учете корреляций между рисками см.: Australian Government, 2018, Ch. 4).

<sup>43</sup> Или, при подключении предустановленной надстройки *Excel* «Анализ данных», инструмента «Генерация случайных чисел».

В этом случае нужно сгенерировать симуляции треугольных случайных величин с заданной матрицей корреляций.

Вначале остановимся на относительно простом случае – имитации коррелированных нормальных случайных величин. Эта задача решается с помощью извлечения корня из корреляционной матрицы. Если  $R$  – симметричная положительно определенная матрица (корреляций) и  $R = A \cdot A^T$ , причем  $A$  – нижняя треугольная матрица, то такое разложение матрицы  $R$  называется разложением Холецкого. Известно, что если  $\lambda$  – вектор независимых стандартных нормальных величин, то вектор  $A \cdot \lambda$  дает реализацию нормальных случайных величин с корреляционной матрицей  $R$  (см.: Пригарин, 2018; формулы для разложения Холецкого см. там же, с. 31–32).

Моделирование случайных величин с произвольным законом распределения и заданными корреляциями – более сложная задача. К ее решению можно подойти с помощью тех же обратных функций распределения и воспользоваться имеющимся решением для вспомогательного нормального распределения. Соответствующий метод описан, например, в монографии С. М. Пригарина (2014): последовательность случайных величин  $x_i$  (в нашем случае  $i$  – номер риска) может моделироваться посредством

$$x_i = F_i^{-1}(\Phi(z_i))$$

где  $\Phi$  – (кумулятивная) функция нормального распределения,  $z_i$  – последовательность нормальных случайных величин, а  $F_i$  – заданная функция распределения для  $x_i$ , например, функция треугольного распределения.

Заметим, что, в соответствии сказанному выше, в приведенной формуле  $\Phi(z_i)$  преобразование нормальной случайной величины своей же функцией распределения превращает ее в равномерную величину; а преобразование  $F^{-1}$  превращает равномерную случайную величину в величину, распределенную по заданному закону  $F$ .

При этом для того, чтобы полученные  $x_i$  коррелировали между собой с матрицей корреляций  $R$ , нужно обеспечить между нормальными величинами  $z_i$  корреляции, описываемые матрицей  $\hat{R}$ , являющейся некоторым элементарным преобразованием матрицы  $R$ . В общем случае это преобразование численно рассчитывается как обращение некоторого двойного интеграла как функции параметра  $\hat{r}_{ij}$ , однако для некоторых отдельных распределений вычисляется явно.

В частности, этот метод позволяет с помощью функции преобразования  $\hat{r}_{ij} = 2 \sin\left(\frac{\pi}{6} r_{ij}\right)$ , как указано в примере 2.4 монографии Пригарина (2014), вполне точно моделировать равномерно распределенные на  $[0,1]$  величины с заданными корреляциями  $r_{ij}$ .

Предположим теперь, что между ключевыми рисками проекта задана корреляционная матрица  $R$ . Смоделируем случайные величины, равномерно распределенные на отрезке  $[0,1]$ , корреляции между которыми соответствуют матрице  $R$ , описанным выше образом и применим к каждой из них обратную функцию треугольного распределения, соответствующую тому или иному риску проекта. Полученные случайные величины будут иметь треугольное

распределение и коррелировать между собой так, что матрица корреляций будет очень близка  $R$ . Можно показать, что в силу «простого» вида функции треугольного распределения поэлементное искажение  $R$  не превышает нескольких сотых долей единицы, что вполне приемлемо для практических целей, поскольку и сама матрица  $R$  определяется приближенно, кроме того, симуляции сами по себе генерируют погрешность такого же порядка.

### ***Разделение рисков между сторонами проекта ГЧП***

До сих пор речь шла об инфраструктурных проектах с госучастием вообще. С точки зрения изучения рисков особый интерес представляют проекты, реализуемые в форме ГЧП, поскольку одно из преимуществ этой формы – возможность передачи или разделения рисков между публичным и частным партнером. При этом одной из задач становится эффективное распределение рисков; в случае ее неудачного решения возможны остановки проекта на любом этапе реализации (Burke, Demirag, 2017). Рекомендуемое моделирование воздействия рисков с симуляциями по Монте-Карло в *Excel* могло бы стать подспорьем, в том числе, и в этом вопросе.

При генерировании реализаций различных рисков проекта ГЧП в *Excel* возможно включить в модель их разделение между публичным и частным партнером на основе данных соглашения по проекту. Это дает возможность построить функции распределения стоимости проекта отдельно для публичного и частного партнера и определить соответствующие доверительные уровни  $P50$ ,  $P90$  как основу для суждений о приемлемости условных затрат.

Иллюстративный пример расчета воздействия рисков на стоимость проекта (реализуемого в форме ГЧП) ЦКАД-1 (по состоянию на 01.10.2020) с помощью метода Монте-Карло приведен в следующем разделе. Этот расчет показывает как значительность ожидаемого воздействия рисков (при сделанных предположениях об их параметрах), так и относительно высокую вероятность превышения ожидаемой стоимости проекта.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### Модельный расчет воздействия рисков на стоимость на примере ЦКАД-1

Один из последних значительных федеральных проектов государственно-частного партнерства – строительство и эксплуатация магистрали ЦКАД. Он подразделяется на участки, которым соответствуют отдельные соглашения и проекты; здесь рассмотрим участок ЦКАД-1 (пусковой комплекс № 1). Информация по этому проекту содержится, в частности, в офи-

циальном паспорте проекта<sup>44</sup> и на официальном интернет-сайте госзакупок<sup>45</sup> (Закупка № 31300650912).

В роли публичного партнера выступает ГК «Автодор», частного – в настоящее время<sup>46</sup> АО «Крокус Интернешнл». Контракт был заключен в форме долгосрочного инвестиционного соглашения в марте 2014 г.; в дальнейшем параметры проекта дважды пересматривались. Фаза строительства в итоге охватила 2014–2020 гг., фаза эксплуатации – 2021–2037 гг.

Общая стоимость строительства (инвестиций) – 53,4 млрд руб., из них 45,63 млрд руб. – госфинансирование, 6,77 млрд руб. – частные инвестиции. Соответственные объемы в ценах 1 кв. 2021 г. – 85,6 млрд руб. (74,5 млрд и 11,1 млрд руб). Значительную часть госфинансирования составляют средства ФНБ, вложенные в облигации «Автодора»; окупаемость инвестиций предусмотрена за счет эксплуатации дороги на платной основе.

Попробуем модельным образом на основе имеющейся ограниченной информации оценить риски проекта, актуальные на 01.07.2020 – за полугодие до окончания фазы строительства. Стоимостные показатели для удобства приведем к 1 кв. 2021 г. – планируемому сроку начала эксплуатации объекта.

Определим два вспомогательных базовых показателя. Первый – стоимость затрат на эксплуатацию, которая была параметром в проведенном в 2014 г. конкурсе; ее значение у победителя составило (в ценах 1 кв. 2013 г.) 5,84 млрд руб.; переводя в цены 1 кв. 2021 г., получаем 9,54 млрд руб.

Далее оценим ожидаемое значение потока дорожных сборов (на горизонте действия инвестиционного соглашения, т.е. до 2037 г.), рассчитывая для каждого года эксплуатации произведение среднегодовой интенсивности движения и среднего тарифа. При длине дороги 49,5 км ожидаемая интенсивность движения по ЦКАД-1 на 2030 г., согласно паспорту проекта, составит 43,5 тыс. автомобилей в сутки. Предположим, что в первый год эксплуатации (2021) интенсивность движения составит 50% от этой величины, в дальнейшем возрастает равномерно, к третьему году (2023) выходит на 100%, после чего остается постоянной. Средний тариф считаем равным<sup>47</sup> 6 руб./км в ценах 1 кв. 2021 г. По общему правилу в отношении платных дорог «Автодора», тарифы индексируются по инфляции, поэтому чистую приведенную стоимость потока доходов рассчитаем как простую сумму указанных ежегодных сборов в 2021–2037 гг. При заданных предположениях она составит 76,7 млрд руб.

Рассмотрим следующие шесть рисков проекта: оценивая их по трем точкам-сценариям с учетом ряда естественных предположений, получим параметры соответствующих треугольных распределений.

<sup>44</sup> URL: <https://docs.cntd.ru/document/420256950>; <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72184236/>.

<sup>45</sup> URL: <https://zakupki.gov.ru/>.

<sup>46</sup> Как сообщает сайт госзакупок, конкурс в 2014 г. выиграла компания «Стройгазконсалтинг»; по данным СМИ, в 2015 г. произошла смена подрядчика.

<sup>47</sup> 3 руб./км для легковых автомобилей, 9 руб./км для грузовых, предполагая их равные доли в составе движения (данные статистики первой недели приведены на URL: <https://rg.ru/2021/07/19/avtodor-otmetil-rost-intensivnosti-dvizheniia-po-ckad.html>).



Риск 1. Задержка строительства (по зависящим от сторон обстоятельствам). В этом случае для простоты предположим, что ущерб ограничивается стоимостью использования инвестированных средств за период задержки. Для государственного партнера примем эту стоимость равной проценту по 10-летним ОФЗ, по кривой их бескупонной доходности (на 01.07.2020 равному 6,03%), приложенному к инвестициям 75,4 млрд руб.; для частного партнера – расчетную среднюю доходность инвестиций, равную 6,5% плюс ИПЦ, или 10,4%, приложенную к инвестициям 11,1 млрд руб. Совокупный ущерб за квартал тогда составит 1,41 млрд руб., из которых 80% приходится на государственного партнера и 20% – на частного. Итак, по данному риску в пессимистическом сценарии с вероятностью 10% происходит задержка строительства на квартал, причиняя указанный ущерб. В наиболее вероятном и оптимистическом сценариях – задержки строительства нет.

Риск 2. Ошибки проектирования. Этот риск состоит из двух частей – ошибки частного партнера в проектировании и изменение техзадания на проектирование. В конкретном случае ЦКАД этот риск также связан с риском нанесения ущерба третьим сторонам. Разделение рисков этого типа между публичным и частным партнером зависит, по принятому соглашению, от того, будет ли признан тот или иной вопрос ошибкой проектирования или объективным недоучетом проектирования, требующим изменения техзадания. В первом случае затраты ложатся на частного партнера, во втором случае – на государство.

В СМИ обсуждалось выделение дополнительных ресурсов на ликвидацию «узких мест» ЦКАД: только перенос газопроводов и нефтепроводов к югу от Москвы, где расположен участок ЦКАД-1, оценивался в 5 млрд руб.<sup>48</sup> Это дает основания в качестве рабочего предположения в модели рассмотреть пессимистический сценарий (с вероятностью 10%) дополнительных затрат в 5 млрд руб. и разделение риска в равных пропорциях между частным и государственным партнером. В наиболее вероятном и оптимистическом сценарии считаем дополнительные затраты по этому виду риска нулевыми.

Риск 3. Риск падения трафика ниже прогнозируемых значений, в связи с этим – недополучение сборов от пользователей дороги и снижение доходности проекта. Международные исследования показывают (Делмон, 2010, с. 113),<sup>49</sup> что нередко прогноз трафика завышается на 30%. Основываясь на этом, в пессимистическом (1:10) сценарии рассчитаем трафик как 77% от прогноза (т.е. 100/130) равномерно по всем годам периода эксплуатации. Поскольку дорожные сборы поступают по условиям соглашения государству, этот риск принимает публичный партнер. В оптимистическом сценарии (1:10) предположим, что фактический трафик окажется на 10% выше прогнозного.

Чистая приведенная стоимость потока дорожных сборов за период эксплуатации до 2037 г., как упомянуто выше, ожидается равной 76,7 млрд руб. Итак, в пессимистическом сценарии (1:10) недобор платы пользователей

<sup>48</sup> URL: <https://www.interfax.ru/russia/680689>.

<sup>49</sup> URL: [http://www.fa.ru/org/chair/gchp/Documents/biblio/%D0%94%D0%B5%D0%BB%D0%BC%D0%BE%D0%BD%20public\\_private\\_partner.pdf](http://www.fa.ru/org/chair/gchp/Documents/biblio/%D0%94%D0%B5%D0%BB%D0%BC%D0%BE%D0%BD%20public_private_partner.pdf).

в 2021–2037 гг. составит 17,6 млрд руб.; в оптимистическом (1:10) – план по доходам будет перевыполнен на 7,7 млрд руб.

Риск 4. Риск роста эксплуатационных расходов исполнителя лежит на частном партнере. Этот риск может осуществиться за счет: удорожания оборудования и материалов; трудовых споров (повышения оплаты труда); негативных событий из-за действий третьих сторон, приведших к необходимости дополнительного ремонта. В рамках модели оценим данный риск в совокупности. В пессимистическом сценарии (1:10) предположим потери на уровне 10% от приведенных выше расчетных расходов на эксплуатацию (9,54 млрд руб.), то есть 0,95 млрд руб. В оптимистическом и наиболее вероятном сценариях предположим, что фактические эксплуатационные расходы совпадут с расчетными.

Риск 5. Скрытые дефекты (брак) в объекте, обнаруживаемые после завершения строительства. Этот риск принимает частный партнер. При отсутствии исторической статистики предположим, что в пессимистическом сценарии (1:10) могут быть обнаружены скрытые дефекты в стоимостном объеме 0,86 млрд руб. – на уровне 1% от стоимости строительства. В оптимистическом и наиболее вероятном сценариях предположим, что производственного брака не случится.

Риск 6. Экологический риск, реализовавшийся на стадии эксплуатации объекта. В соответствии с соглашением он разделен между публичным и частным партнером в зависимости от природы негативных для окружающей среды явлений (условно считаем, что в равных долях). По оценкам<sup>50</sup>, экологический ущерб только от вырубki леса в проекте ЦКАД может составить от 3 до 11 млрд руб., при этом учтем, что ЦКАД-1 представляет только часть большого проекта ЦКАД. Примем оценку затрат на решение экологических вопросов в пессимистическом сценарии (1:10) на уровне 5% от стоимости эксплуатации объекта, или 0,48 млрд руб.

Корреляции между рисками определим следующим образом. Первые два риска относятся к стадии строительства, следующие четыре – к стадии эксплуатации. Риски, относящиеся к одной стадии, считаем коррелированными. Отмеченные риски в стадии строительства по содержанию связаны, а риски недополучения дорожных сборов и экологический риск – по содержанию обособлены от других рисков стадии эксплуатации. Используя предположения о сильном (0,75), умеренном (0,5) и слабом (0,25) уровне корреляции, получим следующую матрицу:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0,75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,75 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0,25 & 0,25 & 0,25 \\ 0 & 0 & 0,25 & 1 & 0,5 & 0,25 \\ 0 & 0 & 0,25 & 0,5 & 1 & 0,25 \\ 0 & 0 & 0,25 & 0,25 & 0,25 & 1 \end{pmatrix}$$

<sup>50</sup> URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3014799>.

Приведем оценки, которые, при заданных распределениях рисков, позволяет получить генерирование 5000 симуляций по методу Монте-Карло. Для публичного партнера вероятность, что баланс доходов и расходов проекта при реализации рисков не ухудшается по сравнению с планом, равна 28%; с вероятностью 50% потери за счет указанных рисков составят не более 5,5 млрд руб., с вероятностью 90% – не более 20,0 млрд руб. Для частного партнера: реализация рисков может привести только к ущербу; с вероятностью 50% он не превысит 2,2 млрд руб., с вероятностью 90% – 3,9 млрд руб.

Моделирование показывает, что наиболее весомый из указанных шести рисков – третий (недостача дорожных сборов): так, при его исключении, для публичного партнера потери с вероятностью 50% не превышают 1,7 млрд руб.; с вероятностью 90% – 3,7 млрд руб.

При повторении процедуры Монте-Карло указанные численные оценки стоимости изменяются незначительно: разброс составляет порядка 3%.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. AACE. Guide to Quantitative Risk Analysis. Rev. December 20, 2019. URL: <https://library.aacei.org/pgd02/pgd02.shtml>.
2. Burke R., Demirag I. Risk Transfer and Stakeholder Relationships in Public Private Partnerships // Accounting Forum. 2017. Vol. 41, no. 1. P. 28–43.
3. Australian Government, Department of Infrastructure, Transport, Cities and Regional Development. Cost Estimation Guidance. Nov, 2018.
4. Flyvbjerg B. The Oxford Handbook of Megaproject Management. Oxford, UK, Oxford University Press, 2017. DOI:10.1093/oxfordhb/9780198732242.001.0001.
5. Geberemariam T.K. Deterministic and Probabilistic Engineering Cost Estimating Approaches for Complex Urban Drainage Infrastructure Capital Improvement (CIP) Programs // International Journal of Scientific Engineering and Research (IJSER). 2020. Vol. 8, iss. 10. Oct.
6. European Commission. Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects. European Commission, Dec 2014. URL: [https://ec.europa.eu/regional\\_policy/sources/docgener/studies/pdf/cba\\_guide.pdf](https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/studies/pdf/cba_guide.pdf).
7. The Green Book. Central Government Guidance on Appraisal and Evaluation. HM Treasury, 2020.
8. Green Book supplementary Guidance. Early financial cost estimates of infrastructure programmes and projects and the treatment of uncertainty and risk. HM Treasury, 2015.

9. Hollmann J.K. Improve Your Contingency Estimates For More Realistic Project Budgets // *Chemical Engineering*. 2014. December 1. URL: <https://www.chemengonline.com/improve-your-contingency-estimates-for-more-realistic-project-budgets/?printmode=1>.
10. Hollmann J.K. *Project Risk Quantification: A Practitioner's Guide to Realistic Cost and Schedule Risk Management*, Probabilistic Publishing, Sugarland TX, 2016
11. Hollmann J.K. Complexity Risk and Modeling Disorder. In: Y. Raydugin (Ed.), *Handbook of Research on Leveraging Risk and Uncertainties for Effective Project Management*. 2016a. P. 139–151.
12. Infrastructure and Projects Authority. *Cost Estimating Guidance. A Best Practice Approach for Infrastructure Projects and Programmes*. UK, 2021. URL: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/970022/IPA\\_Cost\\_Estimating\\_Guidance.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/970022/IPA_Cost_Estimating_Guidance.pdf).
13. Irwin T.C. *Government Guarantees. Allocating and Valuing Risk in Privately Financed Infrastructure Projects*. World Bank, 2007.
14. Li J., Zou P. Risk Identification and Assessment in PPP Infrastructure Projects using Fuzzy Analytical Hierarchy Process and Life-Cycle Methodology // *Construction Economics and Building*. 2012. Vol. 8, no. 1. P. 34–48.
15. Love P.E.D., Ahiaga-Dagbui D.D., Irani Z. Cost overruns in transportation infrastructure projects: Sowing the seeds for a probabilistic theory of causation // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2016. Vol. 92. October. P. 184–194. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2016.08.007>.
16. Raydugin Y. Adequate Quantification of Project Cost Risks: Introduction of Non-Linear Probabilistic (Monte Carlo) Technique // *International Journal of Risk and Contingency Management*. 2018. Vol. 7. P. 1–20.
17. Wang Y.M., Luo Y., Hua Z.S. On the extent analysis method for fuzzy AHP and its applications // *European Journal of Operational Research*. 2007. doi:10.1016/j.ejor.2007.01.050.
18. Wang Y., Wang Y., Wu X., Li J. Exploring the Risk Factors of Infrastructure PPP Projects for Sustainable Delivery: A Social Network Perspective // *Sustainability*. 2020. Vol. 12, no. 10. P. 4152. DOI:10.3390/su12104152.
19. Wu Y., Li L., Xu R., Chen K., Hu Y., Lin X. Risk assessment in straw-based power generation public-private partnership projects in China: A fuzzy synthetic evaluation analysis // *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 161. P. 977–990.
20. United States Government Accountability Office (USGAO). *Cost Estimating and Assessment Guide: Best Practices for Developing and Managing Capital Program Costs*. March 2009. GAO-09-3SP.
21. Project Management Institute. *Руководство к Своду знаний по управлению проектами (Руководство PMBOK®)*. Четвертое издание, 2008.

22. Делмон Дж. Государственно-частное партнерство в инфраструктуре. Практическое руководство для органов государственной власти. Всемирный Банк, 2010. С. 113.
23. Ермаков С.М. Метод Монте-Карло в вычислительной математике. СПб., 2009.
24. Министерство экономического развития РФ. Приказ Минэкономразвития России от 14.12.2013 N 741 (ред. от 24.12.2021) «Об утверждении методических указаний по подготовке стратегического и комплексного обоснований инвестиционного проекта, а также по оценке инвестиционных проектов, претендующих на финансирование за счет средств Фонда национального благосостояния и (или) пенсионных накоплений, находящихся в доверительном управлении государственной управляющей компании, на возвратной основе».
25. Министерство экономического развития РФ. Приказ Минэкономразвития России № 894 от 30 ноября 2015 «Об утверждении методики оценки эффективности проекта государственно-частного партнерства, проекта муниципально-частного партнерства и определения их сравнительного преимущества».
26. Морозкина А.К. Эффективность государственных инвестиций в инфраструктуру и риски для бюджетной системы // Экономическая политика. 2015. Т. 10, № 4. С. 47–59.
27. Пригарин С.М. Численное моделирование многомерных гауссовских распределений. Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2018.
28. Пригарин С.М. Модели случайных процессов и полей в методах Монте-Карло. Palmarium Academic Publishing, 2014. С. 64–69.
29. Савруков А.Н., Савруков Н.Т., Козловская Э.А. Риски проектов государственно-частного партнерства в России: оценка методами нечеткой логики // Вопросы экономики. 2020. Т. 10. С. 132–143.

## REFERENCES

---

1. Burke, R. and Demirag, I. (2017) 'Risk transfer and stakeholder relationships in public private partnerships', *Accounting Forum*, 41(1), pp. 28–43.
2. Delmon, J. (2010) *Public-private partnership in infrastructure. A practical guide for public authorities*. World Bank.
3. Ermakov, S.M. (2009) *Monte Carlo method in computational mathematics*. St. Petersburg.
4. Flyvbjerg, B. (2017) *The Oxford handbook of megaproject management*. Oxford, UK: Oxford University Press. DOI: 10.1093/oxfordhb/9780198732242.001.0001.

5. Geberemariam, T.K. (2020) 'Deterministic and probabilistic engineering cost estimating approaches for complex urban drainage infrastructure capital improvement (CIP) programs', *International Journal of Scientific Engineering and Research (IJSER)*, 8 (10).
6. Hollmann, J.K. (2016) *Project risk quantification: A practitioner's guide to realistic cost and schedule risk management*. Sugarland TX: Probabilistic Publishing.
7. Hollmann, J. (2016a) 'Complexity risk and modeling disorder', in: Y. Raydugin (Ed.), *Handbook of research on leveraging risk and uncertainties for effective project management*, pp. 139–151.
8. Hollmann, J.K. (2014) 'Improve your contingency estimates for more realistic project budgets', *Chemical Engineering*, December 1. Available at: <https://www.chemengonline.com/improve-your-contingency-estimates-for-more-realistic-project-budgets/?printmode=1> (accessed 21 November 2022).
9. *Infrastructure and Projects Authority. Cost Estimating Guidance. A Best Practice Approach for Infrastructure Projects and Programs*. UK, 2021.
10. Irwin, T.C. (2007) *Government guarantees. Allocating and valuing risk in privately financed infrastructure projects*. The World Bank.
11. Li, J. and Zou, P. (2012) 'Risk identification and assessment in PPP infrastructure projects using fuzzy analytical hierarchy process and life-cycle methodology', *Construction Economics and Building*, 8(1), pp. 34–48.
12. Love, P.E.D., Ahiaga-Dagbui, D.D. and Irani, Z. (2016) 'Cost overruns in transportation infrastructure projects: Sowing the seeds for a probabilistic theory of causation', *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 92, October 2016, pp. 184–194.
13. Morozkina, A.K. (2015) 'Efficiency of public investment in infrastructure and risks for the budget system', *Economic policy*, 10(4), pp. 47–59.
14. Prigarin, S.M. (2014) *Models of random processes and fields in Monte Carlo methods*. Palmarium Academic Publishing.
15. Prigarin, S.M. (2018) *Numerical modeling of multidimensional Gaussian distributions*. Novosibirsk: CPI NSU.
16. Project Management Institute (2008) *Guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide)*. Fourth edition.
17. Raydugin, Y. (2018) 'Adequate quantification of project cost risks: Introduction of non-linear probabilistic (Monte Carlo) technique', *International Journal of Risk and Contingency Management*, 7, pp. 1–20.
18. Savrukov, A.N., Savrukov, N.T. and Kozlovskaya, E.A. (2020) 'Risks of public-private partnership projects in Russia: Assessment by fuzzy logic methods', *Voprosy ekonomiki*, 10, pp. 132–143.
19. Wang, Y., Wang, Y., Wu, X., and Li, J. (2020) 'Exploring the risk factors of infrastructure PPP projects for sustainable delivery: A social network perspective', *Sustainability*, 12 (10), pp. 4152. DOI: 10.3390/su12104152.

20. Wang, Y.M., Luo, Y. and Hua, Z.S. (2007) 'On the extent analysis method for fuzzy AHP and its applications', *European Journal of Operational Research*. DOI: 10.1016/j.ejor.2007.01.050.
21. Wu, Y., Li, L., Xu, R., Chen, K., Hu, Y. and Lin, X. (2017) 'Risk assessment in straw-based power generation public-private partnership projects in China: A fuzzy synthetic evaluation analysis', *Journal of Cleaner Production*, 161, pp. 977–990.

## OFFICIAL DOCUMENTS

1. AACE. Guide to quantitative risk analysis. Rev. December 20, 2019. Available at: <https://library.aacei.org/pgd02/pgd02.shtml> (accessed 21 November 2022).
2. Australian Government, Department of Infrastructure, Transport, Cities and Regional Development. Cost Estimation Guidance. November, 2018.
3. European Commission. Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects. European Commission, Dec 2014.
4. Green Book supplementary Guidance. Early financial cost estimates of infrastructure programs and projects and the treatment of uncertainty and risk. HM Treasury, 2015.
5. Ministry of Economic Development of Russia (2014). Order of the Ministry of Economic Development of Russia of December 14, 2013 N 741 (as amended on December 24, 2021) "On approval of guidelines for the preparation of strategic and comprehensive justifications for an investment project, as well as for the evaluation of investment projects applying for financing from the National Welfare Fund and (or) pension savings held in trust by the state management company on a repayable basis".
6. Ministry of Economic Development of Russia (2015). Order of the Ministry of Economic Development of Russia dated November 30, 2015 No. 894 "On Approval of the Methodology for Evaluating the Effectiveness of a Public-Private Partnership Project, a Municipal-Private Partnership Project and Determining Their Comparative Advantages".
7. The Green Book. Central Government Guidance on Appraisal and Evaluation. HM Treasury, 2020.
8. United States Government Accountability Office (USGAO). Cost Estimating and Assessment Guide: Best Practices for Developing and Managing Capital Program Costs. March 2009. GAO-09-3SP.

Статья поступила в редакцию 07.04.2022;  
одобрена после рецензирования 24.09.2022;  
принята к публикации 29.11.2022.