

# МОДЕЛИ ГАРМОНИЗАЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ В ПРОЕКТЕ



**Голенко-Гинзбург Димитрий**

Профессор, заслуженный деятель и преподаватель кафедры управления производством на факультете промышленного инжиниринга и управления в Ben Gurion University of the Negev; профессор отделения промышленного инжиниринга и управления в Academic College of Judea and Samaria в Израиле.

В 1958 г. получил степень кандидата наук по математике в МГУ, в 1962 г. — степень доктора наук по прикладной математике в Московском физико-техническом институте. В течение 45 лет занимался научной деятельностью и преподавал в ведущих высших учебных заведениях бывшего СССР и Израиля. В настоящее время проводит научные исследования в области управления и планирования при неопределенности, планирования и контроля сети проектов, а также календарного планирования в промышленности.

Автор 14 книг и более 350 статей, опубликованных в таких журналах, как *Mathematics and Computers in Simulation*, *International Journal of Production Economics*, *Automation and Remote Control*, *Communications in Dependability and Quality Management* и *Computer Modeling and New Technologies*.  
Израиль

Для того чтобы продемонстрировать роль и место теории гармонизации, мы должны показать ее применение в определенных областях управления. Установлено, что в большинстве случаев модели гармонизации применимы к организационным системам, которые испытывают случайные сбои. Это, в свою очередь, дает возможность анализировать различные источники неопределенности, например, показатели надежности, различные условия окружающей среды и т. д. Мы остановимся на примерах управления двумя видами проектов: сложными крупномасштабными проектами и средними по масштабу и сложности проектами в сфере строительства.

**Ключевые слова:** анализ риска проектов, модели оценки рисков, проекты в сфере строительства, модели оперативного контроля, модели многокритериальной оптимизации проектов.

## 1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ ГАРМОНИЗАЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ БОЛЬШИМИ ПРОЕКТАМИ

На основании данных, представленных в работах Е. Менипаза и А. Бен-Яира [5–6], можно определить исходную информацию, необходимую для развития теории гармонизации в управлении проектами, например, описываемыми моделями PERT-Cost<sup>1</sup>,  $G(N, A)$ , со стоимостью бюджета  $C_{ij}$  для каждой из операций  $(i, j) \in A \in G(N, A)$ , с ограниченными максимальным и минимальным значениями  $C_{ij \min} \leq C_{ij} \leq C_{ij \max}$ . Длительность

каждой операции  $t_{ij}$  — это случайная величина, где плотность распределения вероятности зависит параметрически от выделенного бюджета  $C_{ij}$ . В результате неопределенной длительности выполнения операций возникают случайные временные задержки при реализации всего проекта в целом, что является прямой причиной возникновения неопределенности и в стоимости. Эти неопределенности могут вызвать ряд рисков в процессе управления проектом.

С другой стороны, проекты, которые будут исследованы методами теории гармонизации, не

<sup>1</sup> Program Evaluation Review Technique — метод оценки и пересмотра планов; PERT-Cost — PERT-анализ с целью стоимостного прогнозирования.

затрагивают аспекты инжиниринга системы, т. к. вся вводная информация представлена в формализованном виде. Модель гармонизации рассматривается как обобщенная кибернетическая задача, оптимизация по многим параметрам в ней используется для того, чтобы дать оценку полезности системы.

Таким образом, модели гармонизации не связаны с такими факторами риска, как технология, сложность и интеграция, изменения в дизайне, возможности поддержки, маркетинг и т. д., хотя и включают в себя вероятностные параметры, которые могут повлиять на эти факторы риска. Принимая во внимание точку зрения Купера и Чепмена [1], можно заключить, что проектами этого типа не следует управлять с помощью распространенных моделей анализа рисков, таких как SCERT<sup>2</sup> и RAER<sup>3</sup> [1]. Подобные проекты обычно реализуются в строительстве (например, новых жилых кварталов, школ, больниц, мостов, фабрик, и т. д.) и нуждаются в правильном управлении и контроле.

Т. к. методы гармонизации основаны на моделях многокритериальной оптимизации, которые могут быть использованы также в планировании и контроле вероятностных сетевых проектов [2–3], мы предлагаем поручить одному сотруднику осуществить анализ моделей гармонизации, сделав его в то же время ответственным за проведение оперативного контроля проектов, описываемых моделями PERT-Cost. По нашему мнению, большинство выводов, полученных в процессе

гармонизации, можно применить для процедур оперативного контроля, включая процесс принятия решений.

Даже в случае реализации больших проектов высокой степени сложности, с новыми изменяющимися технологиями, для которых эти тенденции уже становятся устаревшими, модели гармонизации могут также оказаться полезными. В некоторых случаях созданием альтернативных вариантов и сценариев могут заниматься аналитики, использующие гармонизацию для получения базовых параметров с целью оптимизации рентабельности. Эти сценарии могут создаваться в виде проектов, описываемых моделями PERT-Cost, которые являются распространенной формой управления проектами. Таким образом, можно сделать следующие обобщения.

1. Проекты со случайными сбоями, которые не имеют отношения к неопределенности, связанной с передовыми технологиями либо капиталовложениями, могут включать в себя определенные риски, вызванные случайными отклонениями от сроков или стоимости проекта.
2. Методы гармонизации могут служить как для оценки рентабельности проекта, так и для моделей регулирования в процессе планирования и контроля проекта.
3. Для крупномасштабных проектов высокой степени сложности методы гармонизации могут быть использованы для оценки риска путем системного анализа и моделирования (обычно в форме возможных альтернатив и сценариев).

#### Бен-Яир Авнер

*Преподаватель факультета инжиниринга и управления в промышленности в Sami Shamoan College of Engineering (Израиль). Окончил Московский полиграфический институт по специальности «Механический инжиниринг», получил диплом инженера по технике безопасности и управлению в Ben Gurion University of Hegev, затем в том же университете получил степень доктора философии в промышленном инжиниринге и управлении.*

*Профессиональный опыт автора включает 13 лет работы в сфере управления и инжиниринга в израильской химической и фармацевтической отраслях, а также в области высоких технологий. В настоящее время занимается исследованиями экономических аспектов безопасности труда, анализом надежности и повреждений, моделями оптимизации для систем организаций, производственным планированием, календарным планированием и контролем, моделями оптимизации стоимости, моделями системы планирования и руководства разработками со стоимостным критерием, а также стратегическим управлением. Автор ряда статей, опубликованных в таких изданиях, как *Mathematics and Computers in Simulation, International Journal of Production Economics and Communications in Dependability and Quality Management.* Израиль*

<sup>2</sup> Systems & Computer Evaluation & Review Technique.

<sup>3</sup> Response Action Effectiveness Report.

Таким образом, модели гармонизации можно рассматривать как важное вспомогательное средство при управлении проектами. Например, если у менеджеров есть альтернативный сценарий управления организационной системой, оба варианта необходимо проанализировать с точки зрения управления рисками. Эта альтернатива может в дальнейшем привести к двум разным моделям систем с разными базовыми параметрами. Для того чтобы путем анализа сделать выбор из альтернативных вариантов, можно применить методы гармонизации.

Взаимосвязь между управлением проектами и методами гармонизации можно сформулировать следующим образом: в критические моменты жизненного цикла проекта (изменение требований рынка, необходимость разработать новое программное обеспечение, непредвиденные обстоятельства, которые сокращают расходы и время работы над проектом ценной снижения качества и т. д.), аналитики управления рисками собирают новейшую информацию об альтернативных сценариях для принятия решений на основе многокритериальной оптимизации. Обновленная информация включает в себя, согласно данным Е. Менипаза и А. Бен-Яира [4–6]:

- ◆ информацию об альтернативных сценариях (например, в форме подсетей PERT-Cost);
  - ◆  $n$  базовых входных параметров модели;
  - ◆ новые коэффициенты частичной рентабельности  $\alpha_k$ , а также ограничения ресурсов по их стоимости  $R_{ko}$  и  $R_{koo}$ ,  $1 \leq k \leq n$ .
- На основе информации, полученной в процессе гармонизации,

необходимо принять правильное решение и применить его в мониторинге организационной системы. Осуществить это должны аналитики по управлению рисками.

Иными словами, модели гармонизации, аналогично моделям дерева исходов и дерева ошибок, могут считаться специальным вспомогательным методом для совершенствования мониторинга системы. Таким образом, модель гармонизации, как и любая кибернетическая модель, может использоваться в качестве метода оценки риска.

## 2. МОДЕЛИ ГАРМОНИЗАЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ, ОПИСЫВАЕМЫМИ МОДЕЛЯМИ PERT-COST

Рассмотрим более детально случай, когда имеющая средние размеры сеть PERT-Cost используется в качестве модели системы, в которой будет проводиться гармонизация. Проект  $G(N, A)$  включает в себя операции  $(i, j) \subset A \subset G(N, A)$  с произвольной продолжительностью по времени  $t_{ij}$ , с заранее установленной плотностью распределения вероятностей (р. д. ф.<sup>4</sup>), зависящей параметрически от стоимости бюджета  $c_{ij}$  каждой операции. Считается, что для каждой операции  $(i, j)$  ее плотность распределения вероятностей  $p(t_{ij}/c_{ij})$  соответствует равенству

$$p(t_{ij}/c_{ij}) = \frac{12}{(b_{ij} - a_{ij})^2} (t - a_{ij})(b_{ij} - t)^2, \quad (1)$$

$$\text{где } a_{ij} = \frac{A_{ij}}{c_{ij}}, \quad b_{ij} = \frac{B_{ij}}{c_{ij}}, \quad A_{ij}, B_{ij} —$$

константы, а  $c_{ij}$  является величиной, для которой  $c_{ij \min} \leq c_{ij} \leq c_{ij \max}$  (2)

с заданными значениями  $c_{ij \min}$  и  $c_{ij \max}$ .

Учитывая общий бюджет проекта

$$C \geq \sum_{\{(i,j)\}} c_{ij \min}$$

и срок завершения работы над проектом  $D$ , введем следующее линейное равенство многокритериальной оценки полезности проекта:

$$U = \text{Max}_{C,D,R} \{ \alpha_C (C_0 - C) + \alpha_D (D_0 - D) + \alpha_R (R - R_0) \}, \quad (3)$$

где  $C_0$ ,  $D_0$  и  $R_0$  — минимально допустимые бюджет, срок завершения проекта и критерий его надежности, которые могут быть применены в проекте, описываемом моделями PERT-Cost, в то время как  $C$ ,  $D$  и  $R$  — это бюджет, срок завершения проекта и значение критерия надежности, которые применяются в рассматриваемом проекте. Размеры линейных показателей  $\alpha_C$ ,  $\alpha_D$  и  $\alpha_R$ , т. е. частичной рентабельности, также заданы заранее. В работах Е. Менипаза и А. Бен-Яира [4–6] указано, что критерий надежности  $R$  получают путем оптимизации модели частичной гармонизации  $PHM \{C, D\} = R$  следующим образом:

определить значение  $c_{ij}^{(opt)}$  с целью максимизации целевой функции

$$\text{Max}_{\{c_{ij}\}} R = \text{Max}_{\{c_{ij}\}} \left[ \text{Pr} \left\{ T\{G/c_{ij}\} < D \right\} \right], \quad (4)$$

с ограничениями (2) и

$$C = \sum_{\{(i,j)\}} c_{ij}^{(opt)}, \quad (5)$$

$$C_{00} \leq C \leq C_0, \quad (6)$$

$$D_{00} \leq D \leq D_0, \quad (7)$$

$$R_0 \leq R \leq R_{00}. \quad (8)$$

Реализовав относительно простой поиск экстремума в двумерной сфере  $C$  и  $D$  и определив

<sup>4</sup> Probability density function.

для каждой пары  $(C, D)$  соответствующее ей значение  $R = PHM\{C, D\}$  для того, чтобы максимизировать модель (3), мы получаем возможность определить полезность проекта  $U$ .

В случае, когда проект  $G(N, A)$  представлен в формальном виде, а операции  $(i, j) \in G(N, A)$  не

заклучают в себе инженерных решений и имеют абстрактное значение, мы предлагаем использовать теорию гармонизации в качестве метода планирования и контроля проекта. Отметим, что в результате гармонизации в проекте осуществляется *оптимальное*

*перераспределение бюджета по операциям проекта*. Этот базовый постулат будет использован позже — при осуществлении оперативного контроля проекта.

Мы предлагаем следующую процедуру, состоящую из нескольких этапов.

#### Этап 0

Дано:

- ◆ проект, описываемый моделями PERT-Cost  $G(N, A)$ ;
- ◆ фиксированные показатели  $C_{ij\ min}$ ,  $C_{ij\ max}$ ,  $A_{ij}$  и  $B_{ij}$  для каждой операции  $(i, j) \in A \subset G(N, A)$ ;
- ◆ показатели частичной рентабельности  $\alpha_C$ ,  $\alpha_D$  и  $\alpha_R$ ;
- ◆ допустимые интервалы  $[C_{00}, C_0]$ ,  $[D_{00}, D_0]$  и  $[R_0, R_{00}]$ .

#### Этап 1

Гармонизация осуществляется для  $G(N, A)$  заранее, т. е. до начала непосредственной работы над проектами. Необходимо найти соответствующие оптимизированные значения, которые определяют максимальное количество работ проекта —  $C^*$ ,  $D^*$  и  $R^*$ . Обратите внимание на то, что необходимо соблюдать следующие условия:

$$\begin{cases} C_{00} \leq C^* \leq C_0 \\ D_{00} \leq D^* \leq D_0, \\ R_0 \leq R^* \leq R_{00} \end{cases} \quad (9)$$

иначе осуществить гармонизацию не удастся.

#### Этап 2

Если стоимость бюджета  $C^*$  фиксирована, необходимо распределить  $C^*$  для всех операций проекта согласно показателям  $C_{ij}^{(opt)}$ , полученным в процессе совершения гармонизации на первом этапе. После этого начнется работа над реализацией проекта.

#### Этап 3

В работах Д. Голенко-Гинзбурга и А. Гоника [2–3] представлена модель контроля для проектов, описываемых моделями PERT-Cost. С помощью этой модели разрабатывается траектория проекта, осуществляется наблюдение за состоянием проекта в каждой точке контроля, а также отклонением проекта от запланированной траектории, устанавливается следующая точка контроля. Эту модель контроля необходимо применять на третьем этапе для того, чтобы определить очередную точку контроля  $t > 0$ .

#### Этап 4

В каждой точке контроля  $t$  ведется наблюдение за данными по реализации проекта, т. е. в формулу  $G(N, A)$  необходимо вносить обновленные данные показателя  $t$  и остающегося бюджета  $C^*$ . Обозначим полученные значения  $G_t(N, A)$  и  $C_t^*$  соответственно.

#### Этап 5

В каждой стандартной точке контроля  $t > 0$  необходимо осуществить процедуру гармонизации для того, чтобы позже распределить остающийся бюджет  $C_t^*$  на остающиеся операции  $(i, j) \in A_t \subset G_t(N, A)$ . Обозначим полученные значения оптимального бюджета  $C_{ij\ t}^{(opt)}$ .

#### Этап 6

Следует распределить (в случае необходимости) бюджет  $C_t^*$  между операциями  $(i, j) \in A_t$  согласно результатам этапа 5. Обратите внимание, что *многократное перераспределение бюджета является фактически единственным управляющим воздействием в процессе оперативного контроля* (см. этап 3).

#### Этап 7

Алгоритм завершает работу по обследованию проекта в момент его завершения  $D$ , т. е. в последней точке контроля.

Можно легко установить, что, кроме совершения оперативно-го контроля, предлагаемый алгоритм включает в себя как модель гармонизации, так и модели анализа риска. Действительно, данные модели отличаются от традиционных методов управления рисками, включающими в себя технологические риски, неопределенности при маркетинге продуктов и т. д. Между тем оптимальное распределение бюджета служит в качестве модели регулирования при случайных сбоях и может считаться элементом анализа рисков.

Отметим, что в процессе реализации проекта определенные параметры вводимой исходной информации могут подвергаться изменениям — например, показатели ограничения  $C_{ор}$ ,  $C_{оор}$ ,  $R_{ор}$ ,  $R_{оор}$ ,  $D_{ор}$ ,  $D_{оор}$  как и показатели частичной рентабельности  $\alpha_c$ ,  $\alpha_o$  и  $\alpha_r$  [4–6]. Новые показатели нужно применить в модели гармонизации для того, чтобы осуществить оптимальное распределение бюджета на остающиеся операции проекта на этапе 5 приведенного выше алгоритма. Если формулы (4–8) не имеют решения, то принимается постановление на уровне компании, по которому либо выделяется дополнительный бюджет на показатель  $\Delta C$ , либо сроки работы над проектом увеличиваются на  $\Delta D$ . Оба показателя можно определить с помощью гармонизации.

### 3. МОДЕЛИ ГАРМОНИЗАЦИИ ДЛЯ АНАЛИЗА АЛЬТЕРНАТИВ И СЦЕНАРИЕВ

Рассмотрим случай большого сложного проекта с высоким уровнем неопределенности на

стадиях как технологии, так и маркетинга, в процессе его жизненного цикла. Для управления такими проектами необходимо применять методы анализа риска, аналогичные RAER и SCERT [1]. Эти методы, которые мы в дальнейшем будем использовать в качестве эталона, касаются анализа различных альтернатив или сценариев, которые могут быть представлены в форме сети подпроектов типа CPM<sup>5</sup>. На основе этих подпроектов обычно устанавливают соотношения по времени и стоимости [7]. В дальнейшем мы будем называть эти соотношения времени-стоимости проектами CPM-Cost.

Мы предлагаем, если возможно, представлять эти сценарии в форме стохастических проектов PERT-Cost и заменять ранее применявшиеся соотношения по времени и стоимости на модель гармонизации. Мы продемонстрируем, что разработанная модель многокритериальной оптимизации является более эффективной, чем ранее существовавшие модели времени-стоимости CPM-Cost.

Для того чтобы осуществить точное сравнение, мы должны использовать сходную вводную информацию. Большинство исследователей и специалистов-практиков используют следующее равенство в качестве закона вероятности для продолжительности случайных операций с функцией распределения вероятностей времени операций  $t_{ij}$ :

$$f_{ij}(t) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} \frac{(t - a_{ij})^{\alpha-1} (b_{ij} - t)^{\beta-1}}{(b_{ij} - a_{ij})^{\alpha+\beta-1}}, \quad (10)$$

$a < t < b, \alpha, \beta > 0$

где  $a_{ij}$  обозначает оптимистичные показатели времени, а  $b_{ij}$  — пессимистичные показатели времени.

Для того чтобы упростить модель, функцию распределения вероятностей в методике оценки работы PERT можно видоизменить следующим образом [3]:

$$f_{ij}(t) = \frac{12}{(b_{ij} - a_{ij})^2} (t - a_{ij})(b_{ij} - t)^2 \quad (11)$$

со средним арифметическим

$$\mu_{ij} = 0,2(3a_{ij} + 2b_{ij}). \quad (12)$$

Таким образом, используя функцию распределения вероятностей (10) и учитывая с помощью этапов 1 и 2 параметрическую зависимость от  $c_{ij}$ , реализуем процесс согласования CPM-Cost.

В упрощенном виде модель согласования стоимости для сети CPM [7] может быть представлена следующим образом.

На основе CPM  $G(N, A)$ , вместе с функцией  $t_{ij} = f_{ij}(c_{ij})$ ,  $(i, j) \in G(N, A)$ , и показателями  $c_{ij \min}$  и  $c_{ij \max}$ , определить:

- ♦ минимальную общую стоимость проекта  $C$

$$\text{Min } C, \quad (13)$$

- ♦ оптимальные показатели распределяемого бюджета  $c_{ij}^{(opt)}$ , которые определяются ограничением

$$T_{cr} \{t_{ij} = f_{ij}(c_{ij}^{opt})\} \leq D, \quad (14)$$

$$\sum_{\{i,j\}} c_{ij}^{opt} = C, \quad (15)$$

$$c_{ij \min} \leq c_{ij}^{opt} \leq c_{ij \max} \quad (16)$$

где  $D$  — заранее установленная дата завершения работ.

Т. к. модели согласования в RAER [1] основаны на определении согласования во времени и в стоимости для моделей CPM-Cost (см. формулы 13–16), сходство исходной информации для

<sup>5</sup> CPM (Critical Path Method) — метод критического пути.

обеих моделей (гармонизации и RAER) можно получить, установив, что

$$t_{ij} = \frac{0,6 A_{ij} + 0,4 B_{ij}}{c_{ij}}, \quad (17)$$

для

$$c_{ij} = \begin{cases} c_{ij \min} \\ 0,5(c_{ij \min} + c_{ij \max}) \\ c_{ij \max} \end{cases}, \quad (18)$$

где показатели  $A_{ij}$ ,  $B_{ij}$ ,  $c_{ij \min}$ ,  $c_{ij \max}$  сходны с описанными в (1) и (17) и получены путем замены функции распределения вероятностей (11) на ее среднее арифметическое значение (12).

Давайте сравним модель согласования по времени и стоимости CPM-Cost (13–16) и модель гармонизации (4–8), принимая во внимание, что реальная длительность операций  $t_{ij}$  представляет собой случайные величины. Во-первых, общеизвестно (см., например, [2–7]), что в результате замены всех операций p. d. f. на их средние арифметические значения возникают статистические погрешности в задачах моделей оптимизации (иногда до 40–50%). Из-за этих погрешностей совершаются ошибки при решении задачи контроля — например, устанавливаются заниженные временные сроки реализации проекта. Если же при планировании любого проекта выделяется слишком маленький бюджет, то и на различные операции, совершаемые в рамках проекта, выделяется недостаточно средств в рамках этого бюджета. В результате таких погрешностей может увеличиться длительность этих операций, и, как следствие этого, уменьшится надежность проекта. Это, в свою очередь, повлияет на жизненный цикл проекта, его

стоимость и успех реализации. Перечисленных недостатков удастся избежать, если заменить модель времени-стоимости CPM-Cost на модель гармонизации.

Во-вторых, применение методов гармонизации с помощью сети проектов, описываемых моделями PERT-Cost, дает возможность принимать решения, используя показатель надежности  $R$ , который трудно проанализировать с помощью CPM-Cost (13–16). В-третьих, используя тип согласований времени-стоимости CPM-Cost (13–16), можно проверить только несколько сценариев (т. к. ни один риск-аналитик не может рассмотреть многочисленные альтернативы), в отличие от модели гармонизации, при которой рассматривается — и позже оптимизируется — весь спектр возможных значений пар  $(C, D)$ . Это, в свою очередь, позволяет принимать более взвешенные и реалистичные решения. Таким образом, процедуры гармонизации являются более эффективным методом оценки риска, чем ранее разработанные сетевые модели CPM-Cost.

## ВЫВОДЫ

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы.

1. Помимо использования для оптимизации оценки качества работы экономической системы, модели гармонизации употребляются для определения различных параметров надежности. Таким образом, их стоит рассматривать как вновь разработанные модели исследования операций, которые можно применить при оценке рисков.

2. Модели гармонизации можно напрямую применять ко всем видам сетей проектов, описываемых моделями PERT-Cost, с неопределенностями, связанными с длительностью операций, но без технологических рисков или неопределенности на стадии маркетинга продуктов проекта. Такие проекты обычно относятся к сфере строительства, как, например, строительство новых больниц, школ, стадионов, театров, мостов и тоннелей, новых городских кварталов, фабрик и т. д. По нашему мнению, к данному виду относится подавляющее большинство существующих сегодня проектов, поэтому для них важен мониторинг высокого качества. Мы предлагаем использовать для таких проектов вновь разработанные методы гармонизации как для оценки эффективности проектов, так и для разработки мер по контролю, чтобы обеспечить успешное развитие проекта в желаемом направлении. Таким образом, гармонизация дает возможность разрабатывать ряд процедур оперативного контроля проектов при случайных сбоях и помехах.

Гармонизация, которая является моделью регуляции, может также быть применена в условиях неопределенности как инструмент оценки рисков. Таким образом, для проектов этого типа гармонизация, контроль и оценка рисков объединяются.

3. Сравнительный анализ многопараметровых моделей оптимизации в гармонизации и существующие методы многокритериальной оптимизации CPM-Cost при оценке риска дают возможность сделать вывод, что вновь разработанная модель является более эффективной

для анализа риска проектов, чем существующие модели согласования. Последние обычно затрагивают только проблему определения времени и стоимости для проектов, в то время как методы гармонизации можно применить к любому

из параметров оптимизации для проектов в обстановке случайных воздействий.

4. Для проектов высокой сложности с технологическими рисками, изменениями в дизайне и рисками в предстоящем маркетинге мы предлагаем применять

модели гармонизации для анализа альтернатив и сценариев при условии, что эти альтернативы и сценарии могут быть представлены в форме сети проектов, описываемых моделями PERT-Cost. Это позволяет произвести более точную оценку риска.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Cooper D. F. and Chapman C. B. (1987). Risk Analysis for Large Projects. Wiley, New York.
2. Golenko-Ginzburg D. and Gonik A. (1996). On-line Control Model for Cost-Simulation Projects. *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 47, pp. 266–283.
3. Gonik A. (1995). Planning and Controlling Multilevel Stochastic Projects. Ben-Gurion University of the Negev, Beer-Sheva, Israel.
4. Menipaz E. and Ben-Yair A. (2001). Optimal Harmonization Model in Multi-Parametrical Organization Systems. *Communications in Dependability and Quality Management*, Vol. 4(2), pp. 12–24.
5. Menipaz E. and Ben-Yair A. (2001). Harmonization Model for Stochastic Network Projects. *Communications in Dependability and Quality Management*, Vol. 4(2), pp. 40–55.
6. Menipaz E. and Ben-Yair A. (2002). Three-Parametrical Harmonization Model in Project Management by Means of Simulation. *Mathematics and Computers in Simulation*, Vol. 59(5), pp. 431–436.
7. Shtub A., Bard J. and Globerson Sh. (1994). Project Management: Engineering, Technology and Implementation. Prentice Hall International Inc., New York.

### Благодарности

Авторы благодарят за поддержку  
*Paul Ivanier Centre on Robotics and Production Management* при Ben-Gurion University of the Negev,  
а также *Ira Centre for Business, Technology and Society* при Ben-Gurion University of the Negev.

Перевод А. Нестерова

Печатается с разрешения авторов