УДК 330.322 DOI: 10.14529/em200415

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ЛОГИКО-ЭВРИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ: НЕОСИСТЕМНЫЙ СИНТЕЗ

Я.Д. Гельруд[1], *Е.Б. Кибалов*[2]

[1] *Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия*

[2] *Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

В статье обсуждаются подходы к оценке системной эффективности крупномасштабных институциональных и инвестиционных проектов, которые обладают высокой степенью неопределенности своих параметров. Предлагается гибридная модель оценки, в составе которой рассматривается сетевая модель комплекса операций, отображающая инвестиционно-строительный процесс создания общественно полезного объекта. Сетевая модель формализована в двух вариантах – как детерминированная и как циклическая альтернативная, позволяющая учитывать вероятностный характер технологии производства строительных работ и определять оптимальные варианты выделения ресурсов на работы с учетом трансакционных издержек.

Ключевые слова: крупномасштабный инвестиционный проект, неосистемный синтез, трансакционные издержки, гибридная модель оценки, циклические альтернативные сетевые модели, логико-эвристическая модель, организационные решения.

Введение

В конце прошлого и в начале нынешнего века появились работы Я. Корнаи [1] (методология) и Г.Б. Клейнера [2] (методика), в совокупности образующие расширенную версию традиционного системного анализа (СА), именуемую нами «неосистемный синтез» (НС). Методологическая новизна НС видится в том, что, если СА был и остается *междисциплинарным* инструментом процедур принятия сложных решений, то НС является инструментом *межпарадигмальным*, учитывающим системную парадигму, в рамках которой принимается решение. При этом набор системных парадигм находится в диапазоне от марксистской (планово-административной) до неоклассического мейнстрима (экономикс), и все парадигмы характеризуются собственными методами анализа и синтеза принимаемых решений, образуя их контекст. «Нельзя… произвольно вырывать из контекста какие-либо элементы общества и экономики, – пишет Я. Корнаи [1, с. 14] – и сосредоточить анализ только на них одних, потому, что те или иные последствия переходных процессов… обусловлены взаимодействием между этими элементами и другими, от которых абстрагировались».

Далее в настоящей статье мы следуем системной парадигме Я. Корнаи, но с одним существенным *добавлением*. Оно касается замечания Я. Корнаи: «Для теоретического анализа в рамках системной парадигмы не характерно использование математических моделей» [1, с. 12]. Это верно, и наш опыт в области разработок и использования экономико-математических методов (ЭММ) поддержки принятия сложных решений свидетельствует о том, что дело обстоит именно так. Особенно остро проблема дает о себе знать при оценке общественной эффективности крупномасштабных институциональных и инвестиционных проектов. Здесь проявляется слабость именно методов теоретического анализа, без чего практика оценки практически слепа и действует эмпирически и рецептурно. Следствия общеизвестны: неудачный институциональный проект реформирования железнодорожного транспорта России (1998–2015 гг.) [3] и начатый строительством еще в сталинские времена, затем остановленный инвестиционный проект Материк–Сахалин до сих пор не имеет четкой реализационной перспективы. Неопределенность системных последствий этого проекта корпус общественных наук сегодня не в состоянии раскрыть. и поэтому проект, за разработку обосновывающих материалов по которому затрачены миллионы, до сих пор лежит «на полке». Такая же судьба у Северо-Сибирской железнодорожной магистрали [4].

Исходя из вышесказанного, наше *добавление* направлено на то, чтобы нехарактерное по Корнаи использование математических моделей при теоретическом анализе прикладных проблем принятия решений, сделать характерным. Поскольку, если теория слаба, то единственной альтернативой методу проб и ошибок является модельный эксперимент и обобщение полученных в его ходе результатов в проекции на практику оценки. Что позволит создать работоспособную прикладную модель оценки как гибрид математики и эвристики, создаваемую пошагово.

Теоретические аспекты исследования

1. Синтез гибридной модели: первый шаг

Экономико-математическая модель. Рассмотрим сначала детерминированную экономико-математическую сетевую модель комплекса операций, отображающую инвестиционно-строительный процесс создания общественно полезного объекта в сопряжении с его технологическим и организационным аспектами, отображенными с помощью логико-эвристической модели двух последних.

Будем считать зафиксированными заказчиком (термин ГК РФ) основные параметры проекта: совокупность работ (мероприятий), технологические связи между работами, нормативные длительности работ, размеры и сроки возникновения позитивных эффектов (цели проекта), срок завершения проекта.

Эта информация позволяет построить модель проекта в виде ориентированного графа без циклов $G = (X,U)$, где $U \subseteq X^2$, $X = \{1,\ldots,n\}$ – множество (номеров) вершин (событий), U – множество дуг (работ). Предположим, что заданы длительности t_{ij} всех работ $(i, j)\in U$.

Пусть для каждой работы $(i, j)\in U$ задано множество S_{ij} (номеров) организационных вариантов ее реализации. Выбор варианта $s\in S_{ij}$ фиксирует, в частности, технологию выполнения работы (i, j); тогда t_{ij} определяет интенсивность потребления ресурсов на этой работе и, следовательно, ее сметную стоимость $c_{ij}^{\text{с}}(s)$, приведенную, если нужно, к моменту начала работы, что есть *трансформационные* издержки заказчика. Кроме того, вариант $s\in S_{ij}$ совместно с поздним сроком конца работы (i, j) определяет *трансакционные* затраты $c_{ij}^{\text{т}}(s)$ (затраты на обеспечение завершения работы к заданному сроку). Пусть $c_{ij}(s) = c_{ij}^{\text{с}}(s) + c_{ij}^{\text{т}}(s)$ – суммарные затраты на работу (i, j) в варианте $s\in S_{ij}$.

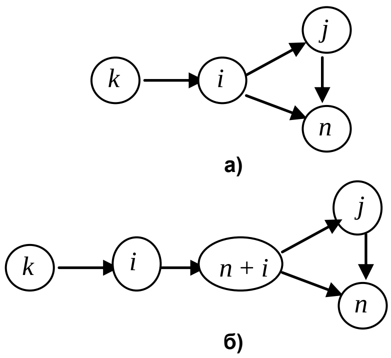
Предположим, например, что номера 0 и 1 присвоены вариантам выполнения работы (i, j) генподрядчиком и субподрядчиком[1], соответственно. Если субподрядчик специализируется на выполнении работ, подобных (i, j), то себестоимость этой работы для него, вероятно, ниже, чем для генподрядчика. Тем не менее, $c_{ij}^{\text{с}}(1)$ (цена работы для генподрядчика в варианте 1, включающая прибыль субподрядчика) может превосходить $c_{ij}^{\text{с}}(0)$, так как последняя величина включает только затраты генподрядчика. С другой стороны, трансакционные затраты в варианте 0 исчерпываются накладными расходами генподрядчика, поэтому можно ожидать, что $c_{ij}^{\text{т}}(0) \le c_{ij}^{\text{т}}(1)$. Однако, если работа (i, j) для генподрядчика не профильная, то ее выполнение по варианту 0 потребует вложений в “специфические активы” (см., например, [5, с. 167]): приобретение оборудования, обучение персонала и т. д. В этом случае, по-видимому, реализуется соотношение $c_{ij}^{\text{т}}(0) > c_{ij}^{\text{т}}(1)$. Таким образом, в зависимости от специфики работы (i, j), специализации генподрядчика, характеристик субподрядчика и условий контракта субподряда, $c_{ij}(0)$ может оказаться больше, меньше или равно $c_{ij}(1)$.

Номинальные значения доходов (полезных эффектов), связанных с проектом, определены его целями, но приведенные значения зависят от календарного плана выполнения проекта (календарный план фиксирует срок начала T_{ij} для каждой работы $(i, j)\in U$). Без ограничения общности можно считать, что n – единственная вершина, из которой не выходит ни одна дуга (сток, завершающее событие). Позднее время свершения этого события $T_n^{\text{п}}$ определено сроком завершения проекта и, возможно, сроками получения эффектов, связанных с этим событием. Проект может предусматривать эффекты (в частности, доходы), ассоциированные и с другими событиями сети; пусть $X_1 \subseteq X$ – множество всех таких событий, d_i – денежный эквивалент эффекта, ассоциированного с событием $i\in X_1$, $T_i^{\text{п}}$ – поздний срок свершения события $i\in X_1$, равный определенному проектом сроку возникновения эффекта d_i. Таким образом, мы полагаем, что заданы поздние сроки свершения $T_i^{\text{п}}$ для событий $i\in X_1 \subseteq X$ (причем $n\in X_1$) и длительности t_{ij} всех работ $(i, j)\in U$. В сети G затраты соответствуют дугам, а доходы – вершинам из множества X_1. При описанных условиях мы хотим найти календарный план проекта, максимизирующий суммарную прибыль, приведенную к моменту начала проекта.

В [6, с. 37–41] для близкой задачи календарного планирования целевая функция выражена через сроки свершения событий сети. Мы предлагаем следующий, более простой подход, позволяющий выразить целевую функцию через переменные календарного плана – сроки начала работ.

[1] Здесь и в далее мы не используем иностранный термин «аутсорсинг», полагая что термин подрядчик более точен применительно к российской хозяйственной среде (в настоящее время договору строительного подряда посвящена глава 37 ГК РФ п.3; термин аутсорсинг законодателем не упоминается.

Построим новую сеть $G' = (Y,V)$ следующим образом: $Y = X \cup \{n + i \mid i \in X_1\}$, $V = V_1 \cup V_2 \cup V_3$, где $V_1 = \{(i,j) \in U \mid i \notin X_1\}$ (дуги из U, входящие и в V), $V_2 = \{(i, n + i) \mid i \in X_1\}$ (новые дуги), $V_3 = \{(n + i, j) \mid (i,j) \in U,\ i \in X_1\}$ (аналоги дуг из U). Положим $T^{\text{п}}_{n+i} = T^{\text{п}}_{i}$ для $i \in X_1$. Пусть $(i,j) \in V$; если $i = n + k$, то положим $t_{ij} = t_{kj}$, $S_{ij} = S_{kj}$ и $c_{ij}(s) = c_{kj}(s)$ для всех $s \in S_{ij}$; если $j = n + k$, то положим $t_{ij} = 0$; в остальных случаях t_{ij}, S_{ij} и $c_{ij}(s)$ не изменяются. Другими словами, каждую вершину $i \in X_1$ мы “расщепили” на две вершины, i и $n + i$, и ввели фиктивную работу $(i, n + i)$ “получение эффекта d_i”; при этом дуги, входящие в i, остались без изменений, а начала дуг, выходящих из i, мы “переключили” на $n + i$ (см. рисунок).



Переход от сети *G* к сети *G′* :
а) сеть *G*, $i \in X_1$; б) сеть *G′*, $n + i \in Y_1$

В сети G' затраты соответствуют дугам из множества $W = V_1 \cup V_3$, а доходы – дугам из $V \setminus W = V_2$, n по-прежнему единственное завершающее событие, заданы поздние сроки свершения $T^{\text{п}}_{i}$ для некоторых событий (пусть Y_1 – множество всех таких событий) и длительности t_{ij} всех работ. Этого достаточно, чтобы рассчитать поздние сроки свершения событий $i \in Y \setminus Y_1$: $T^{\text{п}}_{i} = \min_j\{T^{\text{п}}_{j} - t_{ij}\}$. Теперь определены поздние сроки конца для всех работ сети G': $T^{\text{пк}}_{ij} = T^{\text{п}}_{j}$.

Пусть λ – коэффициент дисконтирования. Выбор наилучшего календарного плана $\pi = (T_{ij})_{(i,j)\in V}$ описывает следующая задача оптимизации.

$$\Sigma_{(i,j)\in V \setminus W}\ e^{-\lambda T_{ij}}\, d_i - \Sigma_{(i,j)\in W}\ e^{-\lambda T_{ij}}\, c_{ij}(s_{ij}) \to \max \quad (1)$$

при условиях: $T_{ij} + t_{ij} \le T_{jk}$, если

$$(i,j) \in V \text{ и } (j,k) \in V; \quad (2)$$

$$T_{ij} + t_{ij} \le T^{\text{п}}_{j}, \text{ если } j \in Y_1; \quad (3)$$

$$T_{ij} \ge 0 \qquad \text{для всех } (i,j) \in V; \quad (4)$$

$$s_{ij} \in S_{ij} \qquad \text{для всех } (i,j) \in W. \quad (5)$$

Ограничения этой задачи не зависят от s_{ij}, поэтому ее можно решать в следующей последовательности: для каждой работы из W с доступной точностью оценить суммарные затраты по рассматриваемым вариантам ее выполнения и на основании этих оценок выбрать наилучший вариант организационного механизма s_{ij}, а затем решить задачу (1)–(4).

Квантификация трансакционных затрат $c_{ij}(s)$ для $(i,j) \in W$ и $s \in S_{ij}$ является серьезной проблемой. Как правило, их удается оценить только с помощью экспертов. Даже в тех случаях, когда трансакционные затраты по варианту s выполнения работы $(i,j) \in W$ можно достоверно отделить от “основных” затрат, разница в точности, с которой исчисляются $c^{\text{с}}_{ij}(s)$ и $c^{\text{т}}_{ij}(s)$, настолько велика, что соизмеримость этих величин вызывает сомнения. Поэтому представляется целесообразным сбор экспертной информации о затратах в форме упорядочений вариантов из множества S_{ij} по неубыванию суммарных затрат $c_{ij}(s)$, $s \in S_{ij}$. Конечно, экспертам следует предоставить достаточно детализированные описания сравниваемых вариантов организации работы, чтобы можно было идентифицировать и оценить соответствующие издержки [5, с. 381].

Методика, сформулированная в [7], позволяет по экспертным упорядочениям элементов множества S_{ij} определить относительные оценки суммарных затрат для рассматриваемых вариантов организации работы (i,j): вектор $\gamma = (\gamma_s \mid s \in S_{ij})$, пропорциональный искомому вектору $c_{ij} = (c_{ij}(s) \mid s \in S_{ij})$.

Для того, чтобы нормировать вектор γ, предположим, что один из способов организации работы (i,j) является традиционным (обычным, общепринятым) и соответствующие ему суммарные затраты известны (или сообщены) экспертам; будем считать, что этому способу присвоен номер 0. Например, если вариант 0 соответствует выполнению работы генподрядчиком, то $c_{ij}(0)$ – это себестоимость работы с включением накладных расходов (которые в этом случае обычно исчисляются как фиксированный процент от себестоимости). Таким образом, $0 \in S_{ij}$ и значение $c_{ij}(0)$ известно. Тогда

$$c_{ij} = \frac{c_{ij}(0)}{\gamma_0}\,\gamma. \quad (6)$$

Теперь выберем для каждой работы $(i,j) \in W$ тот вариант организации (обозначим его s_{ij}), который обеспечивает минимальные суммарные затраты, и решим задачу (1)–(4); в [6, с. 79–81] показано, что эта задача сводится к задаче линейного программирования. Понятно, что в случае, когда $Y_1 = \{n\}$ (только заключительное событие порождает полезные эффекты), минимум затрат достигается на правом плане (когда все работы сети полностью используют все виды резервов), а максимум надежности – на левом плане (когда все работы сети начинаются в ранние возможные сроки).

2. Синтез гибридной модели: второй шаг

Организационная логико-эвристическая модель. Как всякое отображение средств она должна разрабатываться «под функцию», т. е. обеспечивать условия для максимизации функционала (1) при ограничениях (2)–(5) и справедливости гипотезы (6). Естественно предположить, что имеются альтернативные организационные решения и необходимо определить наиболее предпочтительное в указанном смысле.

Понятно, что при фиксированном уровне трансформационных издержек эффективней будет та организационная структура, которая обеспечивает минимальный уровень ожидаемых трансакционных издержек. Часть проблемы решается при выборе субподрядчиков по каждому проекту методом, предложенным выше. Другая часть, затрагивающая взаимодействие собственных подразделений фирмы, представляется задачей минимизации издержек координации операций этих подразделений в рамках каждого проекта и их системы в границах фирмы в целом. Индикатором уровня издержек координации здесь могут служить т. н. затраты аритмии, отражающие неравномерность использования ресурсного потенциала фирмы при ее стремлении минимизировать дисконтированные затраты по проекту при фиксированной дате завершения его инвестиционно-строительного цикла. Соответствующую постановку задачи на сетевой модели того же вида, что и модель (1)–(5), можно найти в нашей работе [7, с. 99–101], где на примере проекта сооружения железной дороги Материк-Сахалин предложена организационная схема строительства магистрали и осуществлен числовой расчет эффективности различных календарных планов, удовлетворяющих ограничениям сетевой модели проекта [7, с. 101–116].

3. Синтез гибридной модели: третий шаг

Выше мы рассматривали модели с детерминированной топологией сети. При моделировании сложного проекта наиболее гибкими и полезными оказываются сетевые модели с альтернативной структурой. Альтернативная сеть содержит альтернативные узлы (состояния), при этом дуги (работы) характеризуются не только вероятностным распределением продолжительности, но и вероятностью их выполнения. Данные модели (называемые в дальнейшем *циклические альтернативные сетевые модели* – ЦАСМ) являются, на наш взгляд, наиболее адекватными сложности проблемы инструментами моделирования комплексов дискретных операций и описания процесса управления реализацией комплексного проекта [8, 11].

ЦАСМ представляет собой конечный, ориентированный, циклический граф $G(\Omega, A)$, состоящий из множества событий Ω и дуг (i, j) $(i, j \in \Omega)$, определяемых матрицей смежности $A = \{p_{ij}\}$. $0 \le p_{ij} \le 1$, причем $p_{ij} = 1$ задает детерминированную дугу (i, j), а $0 < p_{ij} < 1$ определяет альтернативное событие i, которое с вероятностью p_{ij} связано дугой с событием j. Множество дуг подразделяется на дуги-работы и дуги-связи. Первые реализуют определенный объем производственной деятельности во времени, вторые отражают только логические связи между событиями. Событиями могут быть как моменты начала и окончания выполняемых работ, так некоторые их промежуточные состояния.

Обозначим через T_i время свершения i-го события, тогда соотношение между сроками свершения событий, связанных дугой (i, j), задается неравенством:

$$T_j - T_i \ge \psi_{ij}\,, \tag{7}$$

где ψ_{ij} в общем случае случайная величина, распределенная по некоторому закону в интервале от $-\infty$ до 0 или от 0 до $+\infty$.

Кроме того, возможны абсолютные ограничения на момент свершения события i:

$$l_i \le T_i \le L_i. \tag{8}$$

Соотношения (7), (8) являются обобщением соответствующих неравенств при описании обобщенных сетевых моделей [9], где параметр ψ_{ij} и матрица смежности A носят детерминированный характер.

Рассмотрим смысловую нагрузку соотношения (7) при вероятностном характере параметра ψ_{ij}.

Если (i,j) есть дуга-работа (или ее часть), то положительно распределенная случайная величина ψ_{ij} задает распределение минимальной продолжительности этой работы (связанной с максимальным насыщением ее определяющим ресурсом). Планируя максимально возможное использование ресурса на работе, мы ожидаем ее быстрое исполнение, однако непредвиденные помехи и случайные обстоятельства обуславливают вероятностный характер этого времени, причем, как правило, мода (наиболее вероятное минимальное время выполнения работы) сдвигается вправо относительно математического ожидания. Вследствие этого распределение величины ψ_{ij} является унимодальным и асимметричным, а данным требованиям удовлетворяет бета-распределение, которое получило аналитические и эмпирические подтверждения [12].

Если случайная величина ψ_{ij} в (7) распределена в интервале от $-\infty$ до 0, то $-\psi_{ij} = t_{\max}(j, i)$ задает распределение максимальной продолжительности работы (j, i) (связанной с минимальным насыщением ее определяющим ресурсом).

Для дуг-связей (i, j) величина ψ_{ij} задает распределение временной зависимости между событиями i и j, причем положительно распределенная величина ψ_{ij} определяет взаимосвязь типа «не ранее» (событие j может наступить не раньше, чем через ψ_{ij} дней после свершения события i), а отрицательно распределенная величина ψ_{ij} определяет взаимосвязь типа «не позднее» (событие i может наступить не позже, чем через $-\psi_{ij}$ дней после свершения события j). В последнем случае такие связи называют «обратными». В [9] подробно описаны широкие возможности задания технологических связей между работами с помощью детерминированных параметров ψ_{ij}, в данной статье эти связи обобщены с учетом возможно вероятностного их характера.

Абсолютные ограничения на сроки свершения событий, заданные (8), отражают соответствующие директивные, организационные и технологические ограничения на сроки выполнения работ или их частей, заданные в «абсолютной» (реальной или условной) шкале времени. Абсолютные ограничения также характеризуются типом «не ранее» или «не позднее». В абсолютной шкале времени значения l_i и L_i не отрицательны. Если принять начало отсчета (абсолютное или относительное) за нулевое событие, то можно ввести дуги (0, i) и (i, 0) с параметрами $\psi_{0i} = l_i$ и $\psi_{i0} = -L_i$ соответственно, и тогда (8) примет вид: $T_i - T_0 \geq l_i$, $T_0 - T_i \geq -L_i$. Таким образом, абсолютные ограничения вида (8) являются частным случаем ограничений вида (7) для определенных дуг-связей.

Задачи временного анализа ЦАСМ сводятся к нахождению случайного вектора $T = (T_0, T_1,\ldots,T_n)$, где T_i – время свершения i-го события, координаты которого удовлетворяют неравенствам (7) и (8) и обращают в экстремум некоторую целевую функцию $F(T)$.

Поскольку здесь $\{T_i\}$ суть случайные величины, то задачи временного анализа ЦАСМ характеризуются не только видом функции $F(T)$, но и способом вычисления $\{T_i\}$ и их параметров.

Методом статистических испытаний определяются p-квантильные оценки эмпирических распределений как сроков свершения i-х событий $\{W_p(T_i)\}$, так и производных от них величин, в том числе значений целевой функции $F(W_p(T))$, где $W_p(T) = \{W_p(T_0), W_p(T_1),\ldots,W_p(T_n)\}$.

Для расчета ранних и поздних сроков свершения событий предлагается модифицированный алгоритм «Маятник». Идея модификации заключается в синтезе статистического метода расчета параметров, применяемого для вероятностных сетей [10], и алгоритма «Маятник», используемого в обобщенных сетях (ОСМ) [9], и последующего применения его для ЦАСМ.

Применяемый в данном алгоритме метод статистических испытаний при всей его сравнительной простоте позволяет вычислить все необходимые временные параметры сетевой модели для очень сложной топологии сети (вероятностные параметры, альтернативные события, наличие стохастических и детерминированных контуров и пр.).

Алгоритм для расчета p-квантильных оценок ранних сроков совершения событий состоит из выполнения нижеследующих блоков.

Блок 1. Ввод исходных данных (коэффициентов матрицы A, параметров распределения ψ_{ij}, уровня достоверности p). Упорядочение сети.

Блок 2. Вычисление необходимого числа «розыгрышей» N для обеспечения заданной точности результатов. Проделанные расчеты показали, что при $p = 0{,}95$, $\varepsilon = 0{,}05$ получаем $N \approx 270$.

Блок 3. $v\colon = v + 1$ (v – номер розыгрыша).

Блок 4. Розыгрыш v-го варианта случайных величин ψ_{ij}, каждой в соответствии с ее законом распределения, получение констант $\psi_{ij}^{(v)}$ – длины дуги (i, j) при v-м розыгрыше.

Блок 5. Розыгрыш для каждой альтернативной вершины i перехода в смежную вершину j (разыгрывается дискретная случайная величина p_{ij}, представленная i-й строкой матрицы смежности A, $0 < p_{ij} < 1$ и $\sum_j p_{ij} = 1$). Выбранная дуга помечается, остальные из графа исключаются.

Блок 6. Полученную детерминированную обобщенную сеть $G^{(v)}$ разбиваем на две сети $G_1^{(v)}$ и $G_2^{(v)}$ так, чтобы ни та, ни другая сеть не содержала контуров. Вершины в сети $G_1^{(v)}$ упорядочиваем по рангам и в соответствие с ними устанавливаем «правильную» нумерацию. Переносим эту нумерацию на сеть $G_2^{(v)}$ и на исходную $G^{(v)}$.

Блок 7. Для всех вершин i сети $G_1^{(v)}$ вычисляем ранние сроки свершения:

$T_{\text{i}}^{0(v)}\colon = \max_j\{T_i^{0(v)}, T_j^{0(v)} + \psi_{ij}^{(v)}\}$.

Блок 8. Проделываем процедуры, аналогичные блоку 7, для вершин сети $G_2^{(v)}$.

Блок 9. Если результаты блоков 7 и 8 хоть по одному показателю не совпадают, то возвращаемся к блоку 7 (количество таких возвратов не превышает число обратных дуг в $G_2^{(v)}$), иначе – блок 10.

Блок 10. Если номер розыгрыша $v < N$, то переходим к блоку 3, иначе – к блоку 11.

Блок 11. Для каждой вершины i подсчитываем количество ее наступлений $\mathcal{N}(i)$. Для детерминированных вершин, естественно, $\mathcal{N}(i) = N$. $P(i) = \mathcal{N}(i)/N$ – статистическая характеристика вероятности наступления события i, полученная методом имитационного моделирования. Из полученной совокупности $\{T_i^{0(v)}\}$ для каждой вершины i строим вариационный ряд. Фиксируем такое значение $T_i^{0(\xi)}$, чтобы $\mathcal{N}_\xi/\mathcal{N}(i) = \text{p}$, где $\mathcal{N}_\xi$ – число членов вариационного ряда, меньших $T_i^{0(\xi)}$. Величина $T_i^{0(\xi)}$ является искомым p-квантилем раннего срока совершения i-го события $W_p(T_i^0)$. Аналогично, по вариационным рядам $\{\psi_{ij}^{(v)}\}$ строим p-квантильные оценки длин дуг $W_p(\psi_{ij})$.

На вход блока 6 поступает v-й вариант обобщенной сетевой модели $G^{(v)}$, и, собственно, блоки 6–9 представляют собой укрупненную блок-схему алгоритма «Маятник» для вычисления ранних сроков совершения событий в ОСМ. Подробно этот алгоритм изложен в [9], там же приведен алгоритм для вычисления поздних сроков совершения событий. Применяя этот алгоритм в блоках 7 и 8, получаем $T_i^{1(v)}$ – поздние сроки совершения событий для v-го варианта обобщенной сетевой модели, при этом блок 11 дает *p*-квантильные оценки поздних сроков свершения событий $W_p(T_i^1)$.

С помощью ЦАСМ можно учесть альтернативный характер, как технологии производства работ, так и способов выделения ресурсов на работы и определить их оптимальное количество и темпы использования.

4. Синтез гибридной модели: четвертый шаг

Как и в случае с детерминированной сетевой моделью комплекса операций *организационная логико-эвристическая модель управления* проектом при использовании ЦАСМ должна разрабатываться «под функцию», т. е. обеспечивать условия для обращения в экстремум некоторой целевой функции $F(T)$ при ограничениях (7) и (8). Однако гибкость ЦАСМ позволяет проанализировать не только двумерные комбинации организационных структур управления проектами в диапазоне «матричная- иерархическая», но и многомерные (тензорные) организационные решения, что особенно важно при моделировании крупномасштабных проектов.

Выводы и рекомендации

1. В статье предложен системный синтез гибридной модели оценки эффективности крупномасштабных проектов, построенной на интеграции логико-эвристической модели организационной структуры управления проектом и сетевой модели комплекса операций инвестиционно-строительного процесса.

2. Сетевая модель формализована в двух вариантах – детерминированном и вероятностном. Оба варианта дополняют организационную модель; такой подход является дальнейшим развитием научного инструментария учета неопределенности затрат и результатов указанного класса проектов.

3. Применяемые в оценочных процедурах детерминированная и альтернативная сетевые модели по способу их использования являются авторскими новациями: в первом случае детерминированная модель содержит элементы, позволяющие учесть трансакционные издержки проектов, во втором альтернативные сетевые модели позволяют вычислять вероятности различных альтернативных исходов проектов, оценивать время их возможной реализации и, таким образом, учитывать фактор вероятностной неопределенности.

4. Сетевые модели, интегрированные в составе гибридной модели оценки с логико-эвристической моделью организационной структуры управления проектом, позволяют комплексно учесть воздействие факторов вероятностной и радикальной неопределенности на затраты и результаты крупномасштабных инвестиционных проектов.

5. По совокупности пункты 1–4 настоящих выводов позволяют авторам статьи назвать предложенный подход неосистемным и указать реальный путь интеграции эвристики и математики в системной парадигме развития общества и науки, реализуемой ныне в России.

Литература

1. Корнаи, Я. Системная парадигма / Я. Корнаи // Вопросы экономики. – 2002. – № 4. – С. 4–22.

2. Клейнер, Г.Б. Системная парадигма в экономических исследованиях: новый подход / Г.Б. Клейнер // Труды Восьмой научной конференции. Москва, 20–21 апреля 2007 г. – С. 16–38.

3. Кибалов, Е.Б. Крупномасштабные инвестиционные проекты: сопоставительный анализ методов оценки естественными монополиями России / Е.Б. Кибалов, А.А. Кин // Регион: экономика и социология. –2016. –№ 1(89). –С. 295–313.

4. Суслов, В.И. СЕВСИБ: история, современность, стратегическая перспектива России / В.И. Суслов // Сибирь и Дальний Восток в долгосрочной стратегии развития интегрированной транспортной инфраструктуры Евразии. – Иркутск, Москва, Новосибирск. – 2011. – Гл. 1.18. – С. 149–160.

5. Уильямсон, О.У. Экономические институты капитализма / О.У. Уильямсон. – СПб.: Лениздат, 1996. – 702 с.

6. Алтаев, В.Я. Сетевые методы планирования капиталовложений / В.Я. Алтаев, Л.А. Когутовская. – М.: Наука, 1976. – 202 с.

7. Кибалов, Е.Б. Системный анализ ожидаемой эффективности крупномасштабных проектов / Е.Б. Кибалов, В.И. Горяченко, А.Б. Хуторецкий; ИЭОПП СО РАН. – Новосибирск, 2008. – 162 с.

8. Гельруд, Я.Д. Обобщенные стохастические сетевые модели для управления комплексными проектами / Я.Д. Гельруд // Вестник НГУ. Серия: математика, механика, информатика. – 2010. – № 4. – С. 36–51.

9. Воропаев, В.И. Задачи и методы временного анализа календарных планов на обобщенных сетевых моделях / В.И. Воропаев, М.П. Нудельман, Т.Я. Орел // Экономико-математические методы и АСУ в строительстве. – М.: НИИЭС, 1986. – С. 82–108.

10. Филлипс, Д. Методы анализа сетей / Д. Филлипс, А. Гарсиа-Диас. – М.: Мир, 1984. – 496 с.

11. Гельруд, Я.Д. Управление проектами: методы, модели, системы / Я.Д. Гельруд, О.В. Логиновский. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – 331 с.

12. Голенко-Гинзбург, Д.И. Стохастические сетевые модели планирования и управления разработками / Д.И. Голенко-Гинзбург. – Воронеж: Научная книга, 2010. – 410 с.

Гельруд Яков Давидович, д-р техн. наук, профессор, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), gelrud@mail.ru

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

Поступила в редакцию 14 июля 2020 г.

DOI: 10.14529/em200415

ECONOMIC-MATHEMATICAL AND LOGICAL-HEURISTIC DECISION-MAKING MODELS: NEOSYSTEMIC SYNTHESIS

Ya.D. Gelrud[1], E.B. Kibalov[2]

[1] South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation
[2] Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

The article discusses approaches to assessing the systemic efficiency of large-scale institutional and investment projects with a high degree of uncertainty in their parameters. A hybrid assessment model is proposed, which includes a network model of a complex of operations that reflects the investment and construction process of creating a public property unit. The network model is formalized in two versions – as a deterministic network model and as a cyclic alternative one, which allows taking into account the probabilistic nature of the construction technology and find the best options for allocating resources for work, taking into account transaction costs.

Keywords: large-scale investment project, neosystemic synthesis, transaction costs, hybrid assessment model, cyclic alternative network models, logical-heuristic model, organizational decisions.

References

1. Kornai I. [System paradigm]. *Voprosy ekonomiki* [Economic Issues], 2002, no. 4, pp. 4–22. (in Russ.)

2. Kleiner G.B. [Systemic paradigm in economic research: a new approach]. *Trudy vos'moy nauchnoy konferentsii* [Proceedings of the Eighth Scientific Conference]. Moscow, April 20–21, 2007, pp. 16–38. (in Russ.)

3. Kibalov Ye.B., Kin A. A. [Large-scale investment projects: a comparative analysis of valuation methods by Russia's natural monopolies]. *Region: ekonomika i sotsiologiya* [Region: Economics and Sociology], 2016, no. 1 (89), pp. 295–313. (in Russ.)

4. Suslov V.I. [SEVSIB: history, present, strategic perspective of Russia]. *Sibir' i dal'niy vostok v dolgosrochnoy strategii razvitiya integrirovannoy transportnoy infrastructury Evrazii* [Siberia and the Far East in the long-term development strategy of the integrated transport infrastructure of Eurasia]. Irkutsk, Moscow, Novosibirsk, 2011, ch. 1.18c pp. 149–160. (in Russ.)

5. Williamson O.U. *Ekonomicheskie instituty kapitalisma* [The economic institutions of capitalism]. St. Petersburg, 1996. 702 p.

6. Altayev V.Ya., Kogutovskaya L.A. *Setevye metodi planirovaniya kapvlozheviy* [Network methods of planning capitalization]. Moscow, 1976. 202 p.

7. Kibalov E.B., Goryachenko V.I., Khutoretsky A.B. *Sistemnyy analis ozhidaemoy efektivnosti krupnomasshtabnych proektov* [System analysis of expected efficiency of large-scale projects]. Novosibirsk, 2008. 162 p.

8. Gelrud Y.D. [Generalized stochastic network models for managing complex projects]. *Vestnik NSU. Series: mathematics, mechanics, computer science*, 2010, no. 4. pp. 36–51. (in Russ.)

9. Voropaev V.I., Nudelman M.P., Orel T.Ya. [Tasks and methods of temporary analysis of calendar plans on generalized network models]. *Ekonomiko-matematicheskie metody i ASU v stroitel'stve* [Economic and mathematical methods and ACS in construction]. Moscow, 1986. pp. 82–108. (in Russ.)

10. Phillips D., Garcia-Diaz A. *Metody analiza setey* [Methods of network analysis]. Moscow, 1984. 496 p.

11. Gelrud Y.D., Loginovsky O.V. *Upravlenie proektami:metody, modeli, sistemy* [Project management: methods, models, systems]. Chelyabinsk, 2015. 331 p.

12. Golenko-Ginzburg D.I. *Stohasticheskie setevye modeli planirovaniya i upraleniya razrabotkami* [Stochastic network models for development planning and management]. Voronezh, 2010. 410 p.

Yakov D. Gelrud, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, South Ural State University, Chelyabinsk, gelrud@mail.ru

Evgeny B. Kibalov, Doctor of Sciences (Economics), Professor, Chief Researcher, Institute of Economics and Industrial Engineering of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, kibalovE@mail.ru

Received July 14, 2020

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Гельруд, Я.Д. Экономико-математические и логико-эвристические модели принятия решений: неосистемный синтез / Я.Д. Гельруд, Е.Б. Кибалов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». – 2020. – Т. 14, № 4. – С. 130–137. DOI: 10.14529/em200415

FOR CITATION

Gelrud Ya.D., Kibalov E.B. Economic-Mathematical and Logical-Heuristic Decision-Making Models: Neosystemic Synthesis. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Economics and Management*, 2020, vol. 14, no. 4, pp. 130–137. (in Russ.). DOI: 10.14529/em200415