

### 9.4. МАРКОВСКИЕ МОДЕЛИ СЦЕНАРНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Литвин Ю.В., научный сотрудник лаборатории «Анализ проектных рисков»

ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

В реальных ситуациях работа проектно-ориентированных предприятий (ПрОП) протекает в условиях высокой степени неопределенности. В частности, моменты поступления проектов, время их выполнения, а также затраты и прочие факторы являются случайными величинами с заданными или неизвестными законами распределения. Широкие возможности управления открываются в результате использования стохастических моделей процессов текущего сценарного управления ПрОП и портфелями проектов, представленных в настоящей работе.

#### ВВЕДЕНИЕ

В настоящий момент одновременно с использованием сценарной методологии исследования бизнес – систем в стратегической перспективе разрабатываются математические методы, модели и методики, позволяющие оценить эффективность текущего сценарного управления предприятиями. В частности, методы трендового анализа [8], модели системной динамики [9], методы агрегативных систем и марковских процессов [1], имитационного моделирования [5] и др. находят своё применение в практике использования сценариев. В реальных ситуациях работа менеджмента протекает в условиях высокой степени неопределенности: моменты поступления проектов, время и затраты их выполнения, а также прочие факторы являются случайными величинами с заданными или неизвестными законами распределения. Настоящая работа посвящена развитию методов сценарного управления для текущего управления проектно-ориентированным предприятием (ПрОП) путем использования марковских моделей.

#### ОБОБЩЕННАЯ МАРКОВСКАЯ МОДЕЛЬ СЦЕНАРНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОП

Ряд полезных выводов и заключений о работе ПрОП может быть сделан на основании анализа общих характеристик функционирования компании без детализации отдельных работ и проектов. Например, оценка стоимости портфеля проектов (ППр) или предприятия в целом, используя отчет о прибылях и убытках или движения денежных средств, может быть произведена без выделения отдельных проектов и работ по ним. Результаты такого анализа используются при формировании политики управления ПрОП или ППр и выработки общих подходов к принятию управленческих решений. Существенные упрощения в применении алгоритмов управления ПрОП могут быть достигнуты в результате использования понятия «состояний» объектов управления (ППр или ПрОП) [7]. Состояния ПрОП могут определяться различными способами, в частности, по значениям ключевых показателей эффективности (КПЭ). Причем, в реальных системах отслеживание значений КПЭ часто осуществить более просто, чем всех влияющих на объект управления факторов.

Пусть для определения возможных состояний ПрОП, менеджмент использует один КПЭ, принимающий дискретное множество значений  $\bar{A} = \{a_1, a_2, \dots, a_N\}$ . Множества будем обозначать переменными с чертой. При

использовании нескольких КПЭ для определения состояния увеличивается размерность задачи и усложняется проводимый анализ. Пусть множество  $\bar{A}$  линейно упорядочено (т.е.  $a_n \leq a_{n+1}, n = 1, N-1$ ). В этом случае вместо элементов  $a_n$ , будем использовать в обозначениях их индексы от 1 до  $N$ . Множество значений КПЭ  $\bar{N}$  разобьем на несколько подмножеств:

$$\bar{N}_s, s = \bar{1, S}$$

где  $S$  – число подмножеств, в каждом из которых реализуется свой сценарий деятельности ПрОП.

При этом:

$$\bar{N} = \bigcup_{s=1}^S \bar{N}_s, \quad \bigcap_{s=1}^S \bar{N}_s = \emptyset.$$

Введем для ПрОП два типа состояний: микросостояние и макросостояние. Микросостояние – состояние, в котором находится ПрОП, соотнесенное со значениями КПЭ из множества  $\bar{A}$ , а макросостояние – множество состояний ПрОП, связанных со сценариями работы компании. Каждое состояние определяется номером сценария ( $s = \bar{1, S}$ ), в соответствии с которым реализуется процесс ПрОП. Подмножества  $\bar{N}_s$ , а также используемые в каждом из них сценарии, схематично представлены на рис. 1.

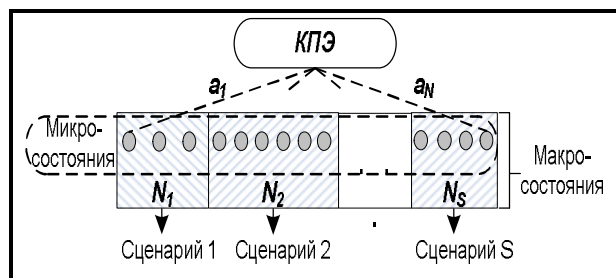


Рис. 1. Микросостояния и макросостояния ПрОП

На множестве состояний  $\bar{N}$  введем процесс  $X(t)$ , отражающий динамику работы ПрОП, связанную с реализацией внешних проектов. В каждый момент времени  $X(t)$  может находиться в одном из состояний  $x(t) \in \bar{N}$ . Переходы между состояниями осуществляются в конце интервалов планирования  $\bar{T} = \{0, 1, 2, \dots, T\}$ , на которые разбито общее время работы ПрОП. Состояния, в которые переходит процесс, являются случайными, а распределение вероятностей перехода из одного состояния в другое определяется конкретными условиями моделируемой системы. Будем считать, что процесс  $X(t)$  является марковским. В этом случае для процесса  $X(t)$  могут быть выписаны уравнения вероятностей состояния ПрОП [6]:

$$P(t) = P(t-1)P, \quad t = 1, 2, \dots \tag{1}$$

где

$P(t) = [\pi_1(t), \dots, \pi_n(t), \dots, \pi_N(t)]$  – вектор-строка, определяющая вероятность нахождения ПрОП в каждом из состояний  $n \in \bar{N}$  в момент времени  $t \in \bar{T}$ ;

$$P = \begin{pmatrix} p_{1,1} & \dots & p_{1,N} \\ \dots & p_{i,j} & \dots \\ p_{N,1} & \dots & p_{N,N} \end{pmatrix} - \text{матрица переходных вероятностей}$$

процесса  $X(t)$ . Считается, что зависимость от используемых менеджментом сценариев учтена в соответствующих вероятностях перехода  $p_{i,j}$ ,  $i, j \in \bar{N}$ .

В последнее десятилетие многими финансовыми аналитиками «стоимость» признается в качестве главного индикатора деятельности, как для акционеров (собственников), так и для менеджмента компании [2, 4]. Акционеры, вкладывающие в бизнес свой капитал, и приобретающие акции компании, требуют от менеджмента максимальной доходности на вложенные средства (при приемлемом уровне риска), величина которой в долгосрочной перспективе оценивается рынком через стоимость акций. Существующие подходы к оценке стоимости компаний могут быть условно разделены на два класса: оценка стоимости по денежному потоку и по остаточной прибыли [2]. При этом задача оценки стоимости бизнеса в процессе текущего управления компаниями потребовала развития соответствующих методов и методик. Для определения того, эффективно ли работало предприятие на заданном интервале времени, необходимо ответить на вопрос: а была ли создана ценность для собственников в течение этого периода? Подходы, навеянные развитием современной теории оценки стоимости бизнеса (Value Based Management, VBM), предлагаются к настоящему моменту многими известными консалтинговыми компаниями: Mc Kinsey & Co, Stern Stewart & Co, Frederik Weissenrieder Consulting, Boston Consulting Group, Holt Value Associates и др. [2, 6]. В результате проведенного анализа, для текущего управления ПрОП был выбран абсолютный финансовый показатель денежной добавленной стоимости (CVA) по версии Frederik Weissenrieder Consulting (FWC) [12]. Отметим, что на текущий момент существует также и альтернативная интерпретация CVA по версии Boston Consulting Group, представленная, например, в [2]. Определим добавленную стоимость, которую приносит ПрОП в течение заданного периода планирования. В этом случае, в каждом из состояний ПрОП, при реализации сценария  $\gamma_s$ , приносимая добавленная стоимость, может быть выражена вектором  $CVA$ :

$$CVA = (cva_1, \dots, cva_n, \dots, cva_N), \quad (2)$$

где

$CVA$  – вектор-строка денежной добавленной стоимости, состоящая из  $N$  элементов.

$cva_n$  – величина денежной добавленной стоимости, которую получает ПрОП, находящееся в одном из состояний  $n \in \bar{N}$ . При этом  $cva_n$  сохраняет одно и то же значение для всех  $n$ , принадлежащих конкретному подмножеству  $\bar{N}_s$ .

Денежная добавленная стоимость, полученная на шаге  $t$ , будет определяться уравнением<sup>1</sup>:

$$CVA(t) = P(t-1)PCVA^T + (P(t-1)(PC_{пер}^T \circ I))e_1, \quad t=1, 2, \dots, \quad (3)$$

<sup>1</sup> В приведенной формуле знак « $\circ$ » отражает произведение «Адамара». Подробнее см. Хорн Р., Джонсон Ч. Матричный анализ [Текст]: пер. с англ. / Р. Хорн, Ч. Джонсон. – М.: Мир, 1989. – 655 с.

где

$$C_{пер} = \begin{pmatrix} c_{пер,1,1} & \dots & c_{пер,1,N} \\ \dots & c_{пер,i,j} & \dots \\ c_{пер,N,1} & \dots & c_{пер,N,N} \end{pmatrix} - \text{матрица дополнительных затрат}$$

связанная с переключением сценариев, в которой  $c_{пер,i,j} < 0$  в случае если  $i \in \bar{N}_s$ , а  $j \notin \bar{N}_s$ , и  $c_{пер,i,j} = 0$  в случае если  $i, j \in \bar{N}_s$ ;

$I$  – единичная диагональная матрица размером  $N \times N$ ;

$e_1$  – единичный вектор-столбец, состоящий из  $N$  элементов;

$T$  – операция транспонирования.

Помимо (3) для марковского процесса  $X(t)$  могут быть выписаны более удобные для выполнения расчетов рекуррентные формулы [10] накопленной денежной добавленной стоимости  $CVA$ , и затрат на переключение за  $t$  шагов:

$$CVA_i(t) = \sum_{j=1}^N p_{i,j} (cva_j + c_{пер,i,j}) + \sum_{j=1}^N p_{i,j} CVA_j(t-1), \quad t=1, 2, \dots, \quad (4)$$

где  $CVA(t)_i$  – величина денежной добавленной стоимости с учетом затрат на переключение сценариев за  $t$  шагов, при условии, что в нулевой момент времени система находится в состоянии  $i$ ;

$cva_j$  – элемент  $j$  вектора  $CVA$ ;

$C_{пер,i,j}$  – элемент матрицы затрат на переключение  $C_{пер}$ .

Отметим, что в (4) в соответствии с [10] величина  $CVA(t)$  отражает денежную добавленную стоимость, полученную ПрОП за  $t$  интервалов времени (т.е. нарастающим итогом). В дальнейшем, при обозначении  $CVA(t)$  в соответствии с (3) будем понимать добавленную стоимость за интервал времени  $t$  (т.е. за один интервал планирования). Кроме этого знак «плюс» между элементами  $cva_j$  и  $C_{пер,i,j}$  в (4) связан с тем, что затраты в матрице  $C_{пер}$  задаются как отрицательные величины.

Переорганизуем множество состояний процесса  $X(t)$  следующим образом. Разделим множество микросостояний процесса  $X(t)$  на два подмножества: под-

множество  $\bar{S} = \bigcup_{s=1}^S \bar{N}_s$ , при условии, что каждое  $\bar{N}_s$  со-

стоит из одного микросостояния, и  $\bar{N}_0 = \bar{N} - \bar{S}$ , в котором сценарии работы предприятия не изменяются.

Таким образом, при переходе процесса  $X(t)$  между состояниями подмножества  $\bar{S}$  происходит изменение сценариев работы компании, а эволюция по состояниям  $\bar{N}_0$  сохраняет тот сценарий, с которым предприятие попало в это подмножество из  $\bar{S}$ . Если предприятие переходит из состояний подмножества  $\bar{N}_0$  в  $\bar{S}$  и при этом возвращается в то же состояние, из которого оно ранее вышло, то выбранный сценарий сохраняется. Так, для упрощенного примера, представленного на рис. 2, выбранный менеджментом сценарий изменяется при переходах предприятия между состояниями

ми:  $1 \rightarrow 2, 3 \rightarrow 4$ . При переходах между состояниями  $2 \rightarrow 3, 1 \rightarrow 5, 5 \rightarrow 6, 6 \rightarrow 7, 7 \rightarrow 1$  – выбранный сценарий не изменяется. Переставим состояния процесса  $X(t)$  таким образом, чтобы подмножество состояний  $\bar{S}$  находилось в начале числовой оси (рис. 3).

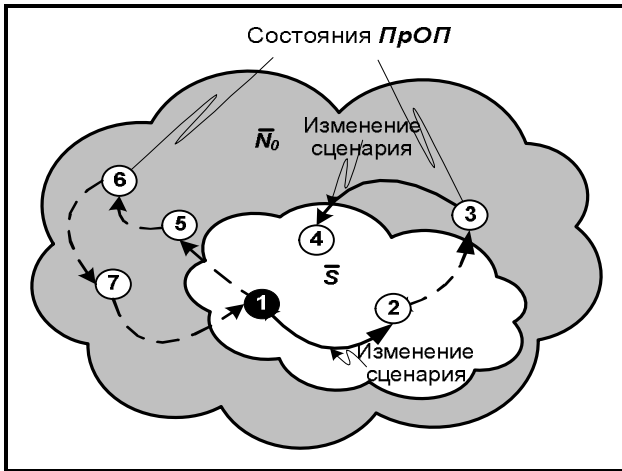


Рис. 2. Множества состояний ПрОП и переходы между ними

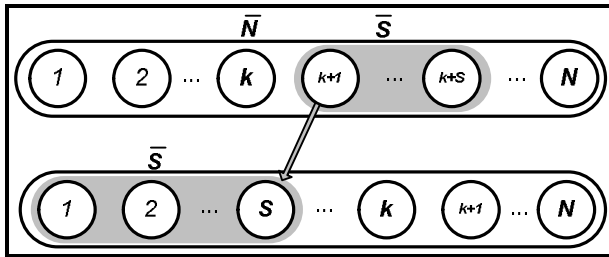


Рис. 3. Перестановка состояний процесса  $X(t)$

Для того, чтобы сохранить номер состояния  $s \in \bar{S}$ , из которого процесс перешел в подмножество состояний  $\bar{N}_0$ , необходимо заменить  $\bar{N}_0$  расширенным подмножеством фиктивных состояний  $\bar{N}'_0 \in \bar{N}$  с общим количеством состояний  $S \cdot (N - S)$ . Таким образом, каждое состояние, принадлежащее подмножеству  $\bar{S}$ , будет дополнено  $N - S$  фиктивными состояниями. Граф состояний и перехода процесса  $X(t)$  для этого случая представлен на рис. 4 и состоит из двух взаимосвязанных подмножеств  $\bar{S}$  и  $\bar{N}'_0$ . Подмножество  $\bar{S}$  определяет те состояния ПрОП, в которых изменяется текущий сценарий работы компании. Для подмножества  $\bar{N}'_0$  характерна работа ПрОП по одному и тому же выбранному в подмножестве  $\bar{S}$  сценарию. Для представленного графа возможны следующие переходы между состояниями: из  $\{1\} \in \bar{S}$  в  $\{1..S\} \in \bar{S}$  и в  $\{S+1; N\} \in \bar{N}'_0$ ; из  $\{2\} \in \bar{S}$  в  $\{1..S\} \in \bar{S}$  и в  $\{N+1; 2N-S\} \in \bar{N}'_0$ ; из  $\{S+1; N\} \in \bar{N}'_0$  в  $\{1..S\} \in \bar{S}$  и в  $\{S+1; N\} \in \bar{N}'_0$  и т.д. На рисунке также отражена денежная добавленная стоимость, получаемая ПрОП при реализации каждого из сценариев.

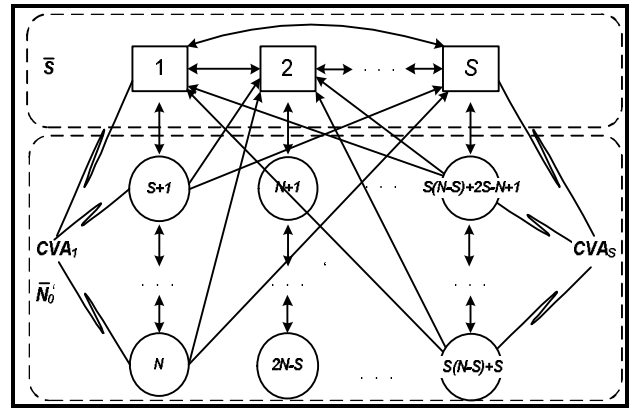


Рис. 4. Граф расширенного множества состояний процесса  $X(t)$

Матрица переходных вероятностей  $P$  и вектор состояний  $\Pi$  при этом существенно расширяются, что естественно увеличивает трудоемкость оценок и затрудняет работу с ними. При этом общее количество состояний, в которых может находиться ПрОП, равно  $S(N - S) + S$ . Клеточная матрица переходных вероятностей для графа на рис. 4 будет иметь вид:

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{21} \\ P_{12} & P_{22} \end{pmatrix},$$

где

$P_{11}$  – квадратная матрица вероятностей перехода между состояниями подмножества  $\bar{S}$ ;

$P_{12}$  – матрица вероятностей перехода из состояний подмножества  $\bar{N}'_0$  в  $\bar{S}$ ;

$P_{21}$  – матрица вероятностей перехода из состояний подмножества  $\bar{S}$  в  $\bar{N}'_0$ ;

$P_{22}$  – матрица вероятностей перехода между состояниями подмножества  $\bar{N}'_0$ .

Общий вид этих матриц может быть представлен следующим образом:

$$P_{11} = \begin{pmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & \dots & p_{1,S} \\ p_{2,1} & p_{2,2} & \dots & p_{2,S} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{S,1} & p_{S,2} & \dots & p_{S,S} \end{pmatrix};$$

$$P_{12} = \begin{pmatrix} p_{S+1,1} & p_{S+1,2} & \dots & p_{S+1,S} \\ p_{S+2,1} & p_{S+2,2} & \dots & p_{S+2,S} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{S(N-S)+S,1} & p_{S(N-S)+S,2} & \dots & p_{S(N-S)+S,S} \end{pmatrix};$$

$$P_{21} = \begin{pmatrix} p_{1,S+1} & \dots & p_{1,N} & 0 & \dots & 0 & \dots \\ 0 & \dots & 0 & p_{2,N+1} & \dots & p_{2,2N-S} & \dots \\ 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots \\ 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots \\ \dots & 0 & \dots & 0 & & & \\ \dots & 0 & \dots & 0 & & & \\ \dots & 0 & \dots & 0 & & & \\ \dots & p_{S,S(N-S)+2S-N+1} & \dots & p_{S,S(N-S)+S} & & & \end{pmatrix};$$

$$P_{22} = \begin{pmatrix} p_{S+1,S+1} & \dots & p_{S+1,N} & 0 & \dots & 0 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & 0 & \dots & 0 & \dots \\ 0 & \dots & 0 & p_{N+1,N+1} & \dots & 0 & \dots \\ 0 & \dots & 0 & \dots & \dots & p_{N+1,2N-S} & \dots \\ 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots \\ \dots & 0 & \dots & \dots & 0 & \dots & \dots \\ \dots & 0 & \dots & \dots & 0 & \dots & \dots \\ \dots & 0 & \dots & \dots & 0 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & p_{S(N-S)+S,S(N-S)+2S-N+1} & \dots & p_{S(N-S)+S,S(N-S)+S} & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}.$$

Денежная добавленная стоимость **CVA** при пребывании процесса **X(t)** в каждом из состояний будет описываться вектором

$$CVA = (cva_1, cva_2, \dots, cva_S, cva_1, \dots, \dots, cva_1, \dots, cva_S, \dots, cva_S). \quad (5)$$

Обозначение (5) отражает добавленную стоимость процесса **X(t)** при его эволюции по состояниям приведенного выше графа. Так при пребывании ПрОП в состояниях  $\{1, \dots, S\} \in \bar{S}$  – за интервал планирования добавленная стоимость составит  $[cva_1, cva_2, \dots, cva_S]$ ; при переходе между состояниями  $\{S+1, \dots, N\} \in \bar{N}_0$  добавленная стоимость будет равна  $cva_1$ ; при переходе между состояниями  $\{N+1, \dots, 2N-S\} \in \bar{N}_0$  добавленная стоимость составит  $cva_2$  и т.д.

Приведенная схема управления ПрОП крайне сложна для практического применения, из-за большого числа возможных состояний ПрОП в подмножествах  $\bar{S}$  и  $\bar{N}_0$ . Для прояснения основных деталей предложенной методики, а также частичного упрощения приведенных выше формул, рассмотрим некоторые частные случаи модели, имеющих практический интерес.

### УПРАВЛЕНИЕ СЦЕНАРИЯМИ РАБОТЫ ПРОП ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ЕГО СОСТОЯНИЯ

Рассмотрим процесс **X(t)**, который, попадая в любое состояние множества  $\bar{N}$ , требует от менеджмента ПрОП изменения сценария работы компании. Причем, переходы процесса **X(t)** могут происходить только в соседние состояния. Последнее предположение о возможных переходах хорошо согласуется с практикой, когда предприятию достаточно сложно моментально изменить свое финансовое положение.

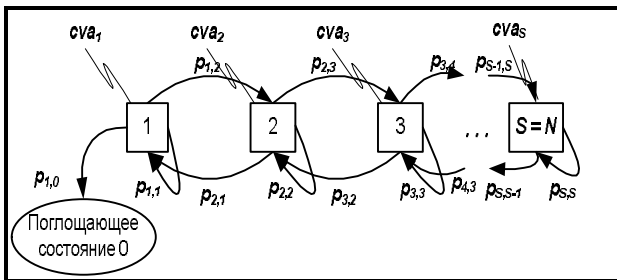


Рис. 5. Граф состояний и переходов процесса **X(t)**

Скорее всего, будет происходить процесс постепенного улучшения или ухудшения, описываемый последовательными переходами между различными состояниями. Таким образом, вероятности переходов процесса **X(t)** и приносимая в течение интервала планирования добавленная стоимость изменяются при переходе от одного состояния и соответственно сценария к другому. В этом случае множество состояний процесса **X(t)** и соответствующие сценарии работы компании совпадают, т.е.  $\bar{S} = \bar{N}$ , а  $\bar{N}_0 \in \emptyset$  (рис. 5).

Вектор **Π(t)** процесса **X(t)** в этом случае имеет более простой вид:

$$\Pi(t) = [\pi_1(t), \dots, \pi_n(t), \dots, \pi_s(t)], \quad (6)$$

а матрица переходных вероятностей может быть представлена как:

$$P = \begin{pmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ p_{2,1} & p_{2,2} & p_{2,3} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & p_{3,2} & p_{3,3} & p_{3,4} & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & p_{s,s-1} & p_{s,s} \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Денежная добавленная стоимость, при нахождении процесса **X(t)** в каждом из состояний, будет определяться вектор-строкой

$$CVA = (cva_1, \dots, cva_n, \dots, cva_s), \quad (8)$$

а денежная добавленная стоимость на момент  $t$  будет определяться по формуле (3). Используя приведенные выше уравнения, можно рассчитать **CVA**, приносимые ПрОП в каждом периоде при заданном начальном состоянии  $\Pi(0)$ .

Достаточно часто при быстрой сходимости процесса **X(t)** к стационарному состоянию в качестве приближения можно использовать установившиеся значения величин. При этом существенно упрощаются расчеты стационарных вероятностей. Так, после достижения стационарного состояния вектор **Π** может быть определен как  $\Pi = \Pi P$  [10]. В этом случае формулу (3) расчета денежной добавленной стоимости можно упростить до следующего вида

$$CVA = \Pi CVA^T + (\Pi (PC_{пер}^T \circ I)) e_1. \quad (9)$$

Рассмотрим марковскую цепь ПрОП с поглощающим состоянием (рис. 5). Состояние поглощения будет ассоциироваться с выходом ПрОП на уровень банкротства. Для этого случая граф состояний следует дополнить состоянием «0».

Таким образом, матрица **P** будет расширена нулевой строкой и нулевым столбцом. Приведем ее структуру к следующему виду:

$$P = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ R & Q \end{pmatrix},$$

где

**R** – вектор-столбец в первой позиции которого находится  $p_{10}$ , а остальные позиции нулевые. Матрица **Q** совпадает с матрицей вероятностей **P** (7). Выпишем фундаментальную матрицу для поглощающих марковских цепей [3]:

$$G = (I - Q)^{-1}. \quad (10)$$

Применение фундаментальной матрицы позволяет получить ряд интересных для практики оценок. Так, из

(10) сразу следует оценка среднего времени пребывания процесса в каждом невозвратном состоянии до момента поглощения при условии, что процесс начинает свою эволюцию из состояния  $i$ . Например, если процесс выходит из состояния  $k$ , то строка  $k$  в матрице  $G$  даст среднее время пребывания во всех невозвратных состояниях до момента поглощения процесса состоянием ноль. Зная среднее время пребывания в каждом невозвратном состоянии легко определить денежную добавленную стоимость, принесенную ПрОП до его банкротства.

**ГИСТЕРЕЗИСНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОП**

Рассмотрим простейшую схему механизма гистерезисного управления [11] и поясним на ней предлагаемый подход. Использование механизма гистерезиса предполагает, что после перехода в подмножество, характеризующее другим сценарием работы, система не может моментально повторно изменить выбранный сценарий. Для этого ей необходимо пройти ряд микросостояний, прежде чем будет достигнуто состояние, с которого возможен переход (рис. 6), что позволяет сократить затраты на переключение.

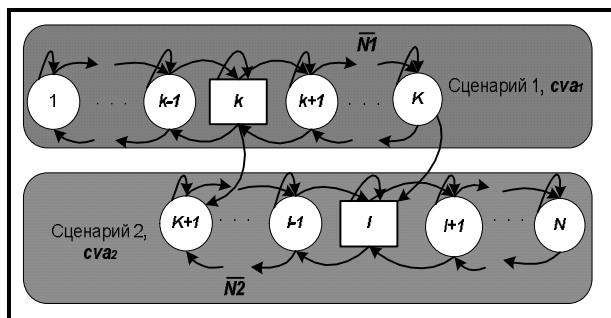


Рис. 6. Граф сценарного управления ПрОП гистерезисного типа

Из представленного рисунка видно, что множество состояний  $\bar{N}$  процесса  $X(t)$  разделено на два подмножества:  $\bar{N}_1$  – подмножество состояний, в которых используется сценарий 1, и  $\bar{N}_2$  – подмножество состояний, в которых используется сценарий 2, причем  $\bar{N} = \bigcup_{i=1}^2 \bar{N}_i$ . Подмножество  $\bar{N}_1$  состоит из  $K$  состояний, а подмножество  $\bar{N}_2$  из  $(N - K)$  состояний. В каждом из подмножеств выделено два состояния процесса  $X(t)$ :  $k \in \bar{N}_1$  и  $l \in \bar{N}_2$ , в которых изменяются сценарии. При таком изменении процесс  $X(t)$  переходит в эти состояния из подмножеств  $N_s, s = 1, 2$ . Таким образом, в графе, представленном на рис. 6, возникает гистерезисная петля, управляя величиной которой можно получать различные алгоритмы управления сценариями работы ПрОП, а также корректировать величину затрат, связанную с изменением сценариев. В целях упрощения, будем рассматривать переходы ПрОП только между соседними состояниями подмножеств  $\bar{N}_1$  и  $\bar{N}_2$ . Во многих случаях это ограничение может быть снято. Общее количество состояний процесса  $X(t)$  на рис. 6 равно  $K + (N - K) = N$ . Введем вектор состояний ПрОП:

$$\Pi(t) = (\pi_1(t), \dots, \pi_k(t), \dots, \pi_K(t), \pi_{K+1}(t), \dots, \pi_l(t), \dots, \pi_N(t)), \quad (11)$$

а также матрицу вероятностей перехода  $P$ . Из-за громоздкости, выпишем фрагменты отдельных строк матрицы  $P$ , для которых  $p_{ij} > 0, i, j \in \bar{N}$ , позволяющие представить результат в матричном виде (табл. 1). Денежная добавленная стоимость при пребывании процесса  $X(t)$  в состояниях  $n \in \bar{N}$  может принимать одно из двух значений:  $cva_1$  при реализации сценария 1 (в состояниях подмножества  $\bar{N}_1$ ) или  $cva_2$  – при реализации сценария 2 (в состояниях подмножества  $\bar{N}_2$ ).

Денежная добавленная стоимость для гистерезисного процесса будет рассчитываться по формуле (3). Выпишем для данного процесса систему уравнений при  $t \rightarrow \infty$ . Предположим, что вероятности переходов между состояниями в рамках каждого из сценариев не изменяются, т.е.  $p_{i,i+1} = a_1, i = 1, K-1, p_{K,l} = a_1, p_{i,i-1} = b_1, i = 2, K$  и  $p_{i,i+1} = a_2, i = K+1, N-1, p_{i,i-1} = b_2, i = K+2, N, p_{K+1,k} = b_2$ , тогда уравнения примут следующий вид:

$$\begin{aligned} -a_1\pi_i + b_1\pi_{i+1} &= 0, \quad i = 1; \\ a_1\pi_{i-1} - (a_1 + b_1)\pi_i + b_1\pi_{i+1} &= 0, \\ (1 < i < K) \& (i \neq k); \\ a_1\pi_{i-1} - (a_1 + b_1)\pi_i + b_1\pi_{i+1} + b_2\pi_{K+1} &= 0, \quad i = k; \\ a_1\pi_{i-1} - b_1\pi_i &= 0, \quad i = K; \\ -a_2\pi_i + b_2\pi_{i+1} &= 0, \quad i = K + 1; \\ a_2\pi_{i-1} - (a_2 + b_2)\pi_i + b_2\pi_{i+1} &= 0, \\ (K + 1 < i < N) \& (i \neq l); \\ a_2\pi_{i-1} - (a_2 + b_2)\pi_i + b_2\pi_{i+1} + a_1\pi_K &= 0, \quad i = l; \\ a_2\pi_{i-1} - b_2\pi_i &= 0, \quad i = N. \end{aligned} \quad (12)$$

Решая систему уравнений (12) и определяя вероятности состояний, с учетом условий нормировки, можно оценить прирост денежной добавленной стоимости ПрОП за единичный период времени в стационарном состоянии:

$$\begin{aligned} cva &= \sum_{i=1}^K \pi_i \left[ cva_1 + \sum_{j=1}^K p_{i,j} c_{Перi,j} \right] + \\ &+ \sum_{i=K+1}^N \pi_i \left[ cva_2 + \sum_{j=K+1}^N p_{i,j} c_{Перi,j} \right]. \end{aligned} \quad (13)$$

**ПРИМЕР ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ГИСТЕРЕЗИСНОГО УПРАВЛЕНИЯ**

Рассмотрим ПрОП при гистерезисном управлении. Пусть система может находиться в  $N = 10$  состояниях. Причем, в состояниях 1-5 реализуется сценарий 1, а в состояниях 6-10 – сценарий 2. Рассмотрим три случая функционирования системы:

- переходы от одного сценария к другому осуществляются в соседних состояниях системы:  $5 \rightarrow 6, 6 \rightarrow 5$  (хотя данный случай уже был рассмотрен в предыдущем разделе, приведем его повторно для системы гистерезисного типа);
- переход между сценариями 1 и 2 осуществляются из  $6 \rightarrow 4$  и из  $5 \rightarrow 7$ ;
- переходы между сценариями 1 и 2 осуществляются из  $6 \rightarrow 2$  и из  $5 \rightarrow 9$ .

Таблица 1

## ФРАГМЕНТЫ МАТРИЦЫ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ПЕРЕХОДА ДЛЯ СИСТЕМЫ «ГИСТЕРЕЗИСНОГО» ТИПА

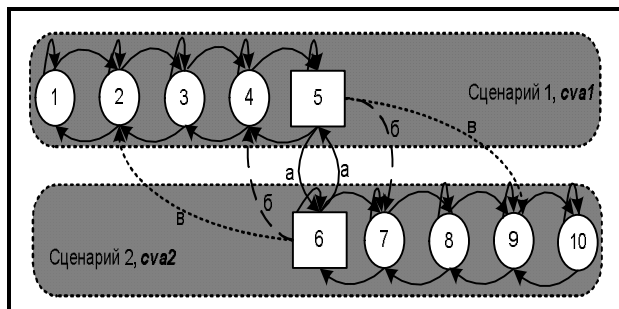
Подмножество состояний	Номер состояния ( $n$ )	Вероятности переходов
$\bar{N}_1$	$n = 1$	$[p_{n,n}, p_{n,n+1}, 0, \dots, 0]$
	$(1 < n < K)$	$[0, \dots, 0, p_{n,n-1}, p_{n,n}, p_{n,n+1}, 0, \dots, 0]$
	$n = K$	$[0, \dots, 0, p_{n,n-1}, p_{n,n}, 0, \dots, 0, p_{n,1}, 0, \dots, 0]$
$\bar{N}_2$	$n = K + 1$	$[0, \dots, 0, p_{n,k}, 0, \dots, 0, p_{n,n}, p_{n,n+1}, 0, \dots, 0]$
	$(K + 1 < n < N)$	$[0, \dots, 0, p_{n,n-1}, p_{n,n}, p_{n,n+1}, 0, \dots, 0]$
	$n = N$	$[0, \dots, 0, p_{n,n-1}, p_{n,n}]$

Таблица 2

## РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННЫХ РАСЧЕТОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ГИСТЕРЕЗИСНОГО ТИПА

Изменение сценария	Вероятности перехода	Стационарный режим			
		Вероятности нахождения системы в различных состояниях	CVA без учета затрат на переключение	Затраты на переключение	CVA с учетом затрат на переключение
5 → 6 6 → 5	$p_{i,i+1} = 0,6, i = \overline{2,5}, p_{i,i-1} = 0,3, i = \overline{2,5},$ $p_{i,i+1} = 0,3, i = \overline{6,9}, p_{i,i-1} = 0,6, i = \overline{6,9},$ $p_{i,i} = 0,1, i = \overline{1,10}, p_{1,2} = p_{10,9} = 0,9$	$P(t \rightarrow \infty) = (0,01; 0,03; 0,07;$ $0,13; 0,26; 0,26; 0,13; 0,06;$ $0,03; 0,01)$	6,47 тыс.руб./за период	-2,50 тыс.руб./за период	3,97 тыс.руб./за период
6 → 4 5 → 7	$p_{i,i+1} = 0,6, i = \overline{2,4}, p_{i,i-1} = 0,3, i = \overline{2,5},$ $p_{i,i+1} = 0,3, i = \overline{6,9}, p_{i,i-1} = 0,6, i = \overline{7,9},$ $p_{i,i} = 0,1, i = \overline{1,10}, p_{1,2} = p_{10,9} = 0,9,$ $p_{5,7} = p_{6,4} = 0,6$	$P(t \rightarrow \infty) = (0,02; 0,05; 0,10;$ $0,20; 0,13; 0,13; 0,20; 0,10;$ $0,05; 0,02)$	6,49 тыс.руб./за период	-1,28 тыс.руб./за период	5,21 тыс.руб./за период
6 → 2 5 → 9	$p_{i,i+1} = 0,6, i = \overline{2,4}, p_{i,i-1} = 0,3, i = \overline{2,5},$ $p_{i,i+1} = 0,3, i = \overline{6,9}, p_{i,i-1} = 0,6, i = \overline{7,9},$ $p_{i,i} = 0,1, i = \overline{1,10}, p_{1,2} = p_{10,9} = 0,9,$ $p_{5,9} = p_{6,2} = 0,6$	$P(t \rightarrow \infty) = (0,05; 0,14; 0,13;$ $0,11; 0,07; 0,07; 0,11; 0,13;$ $0,14; 0,05)$	6,50 тыс.руб./за период	-0,71 тыс.руб./за период	5,79 тыс.руб./за период

Зададим вектор денежной добавленной стоимости (в тыс. руб.)  $CVA = (3, \dots, 3, 10, \dots, 10)$ , а также затраты на переключение сценариев  $c_{Пер,i,j} = c_{Пер,j,i} = 8$  тыс. руб., где  $i, j$  – состояния различных вариантов расчета, между которыми осуществляются переходы. Пусть в нулевой момент времени системы находится в состоянии три:  $P(0) = \{0, 0, 1, 0, \dots, 0\}$ . Результаты проведенных расчетов для различных вариантов систем (рис. 7) приведены в табл. 2.

Рис. 7. Граф состояний процесса  $X(t)$ , пример

Полученные результаты показывают, что при использовании механизма гистерезиса, управляя размером петли можно достичь различных результатов эффективности работы компании. Наиболее эффективным в рассматриваемых случаях оказался последний вариант, когда для перехода на другой сценарий работы системе необходимо пройти ряд микросостояний.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В реальных ситуациях работа менеджмента протекает в условиях высокой степени неопределенности. В частности, моменты поступления проектов на ПрОП, время их выполнения, а также затраты и прочие факторы являются случайными величинами с заданными или неизвестными законами распределения. Широкие возможности открываются в результате использования стохастических моделей процессов текущего сценарного управления ПрОП и ППр, разработанных для оценки КПЭ их деятельности.

Особый практический интерес представляют простая аналитическая модель гистерезисного управления сценариями ПрОП. Особенностью данной модели является то, что с целью экономии затрат на переключение сценариев подбирается соответствующая «петля» для того, чтобы эффекты, полученные от использования сценария, на который планируется переключить процесс, были согласованы с затратами на такое переключение. Несмотря на то, что для расчета описан-

ных алгоритмов может применяться общий матричный метод оценки денежной добавленной стоимости, существует возможность применения более простых схем. В работе приведены метод расчета некоторых вариантов обобщенной матричной схемы, интересных для оценки ПрОП и ППР.

### Литература

1. Бусленко Н.П. Лекции по теории сложных систем [Текст] / Н.П. Бусленко. – М.: Советское радио, 1973. – 439 с.
2. Волков Д.Л. Теория ценностно-ориентированного менеджмента: финансовый и бухгалтерский аспекты [Текст] / Д.Л. Волков. – СПб.: Высшая школа менеджмента, 2008. – 320 с.
3. Кемени Дж. Конечные цепи Маркова [Текст] / Дж. Кемени, Дж. Сиелл. – М.: Наука, 1970.
4. Коупленд Т. и др. Стоимость компаний: оценка и управление [Текст] / Т. Коупленд, Т. Колер, Дж. Мурин. – М.: Олимп-бизнес, 2005. – 576 с.
5. Лоу А. Имитационное моделирование. Классика CS [Текст] / А. Лоу, В. Кельтон. – СПб.: Питер, 2004. – 848 с.
6. Мартин Д., Пети В. VBM – управление, основанное на стоимости: корпоративный ответ революции акционеров [Текст] / Д. Мартин, В. Пети. – Днепропетровск: Баланс Бизнес Бук, 2006. – 272 с.
7. Ставровский Е.Р. Планирование развития и реконструкции систем газоснабжения как управляемый марковский процесс [Текст] / Е.Р. Ставровский, А.А. Кудрявцев // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. – 2000. – Вып. 51.
8. Управление и контроль реализации социально-экономических целевых программ [Текст] / под ред. Кульбы В.В., Ковалевского С.С. – М.: Librokom, 2009. – 400 с.
9. Форрестер Д.У. Основы кибернетики предприятия [Текст] / Д.У. Форрестер. – М.: Прогресс, 1971. – 340 с.
10. Ховард Р.А. Динамическое программирование и марковские процессы [Текст] / Р.А. Ховард. – М.: Советское радио, 1964. – 189 с.
11. Gebhard R. A queuing process will bi-level hysteretic service rate control // Nav Res. Log Quart. 1967. Vol. 14, № 1.
12. Ottosson E., Weissenrieder F. Cash Value Added – A new method for measuring financial performance // Working Paper, Gothenburg Studies in Financial Economics. 1996.

### Ключевые слова

Проектно-ориентированные предприятия; марковские модели; текущее управление; управление сценариями; стоимостная добавленная стоимость; состояния; гистерезисное управление; ключевые показатели эффективности.

*Литвин Юрий Васильевич*

### РЕЦЕНЗИЯ

Текущие условия работы большинства проектно-ориентированных предприятий, основанная деятельность которых связана с реализацией проектов, требует от менеджмента этих компаний разработки и применения соответствующих процедур, методов и методик управления. Сложность использования классических подходов возникает из-за того, что деятельность проектных организаций является во многом уникальным неповторяющимся процессом. Практика работы этих компаний показывает, что большое внимание со стороны их собственников уделяется не только глобальным стратегическим целям, но и текущим результатам деятельности компаний (примером могут служить ожидания инвесторов результатов деятельности компаний за год).

Автором статьи предлагаются новые методы и методики, расширяющие возможности использования сценарного подхода на область текущего управления проектными организациями. В качестве инструмента анализа и оценки предложенных сценариев предлагается использовать марковские модели. В статье предложена обобщенная модель сценарного управления проектными организациями, которая, затем проецируется на частные модели, являющиеся более простыми для практического применения. Предложенные методики позволяют не только выбрать оптимальный сценарий работы компании, но и сократить затраты на переключение режимов работы (сценариев), которые могут быть достаточно большими в ряде проектных организаций.

Считаю, что данная работа будет полезна менеджменту, консультантам и всем, интересующимся вопросами управления сложными системами, а сама статья может быть опубликована в журнале «Аудит и финансовый анализ».

*Бураков С.Б., к.т.н., главный специалист центра математического моделирования и информационных технологий ООО «Газпром ВНИИГАЗ»*

## 9.4. MARKOV CHAINS WITH SCENARIO PLANNING OF THE PROJECT-ORIENTED COMPANIES

Y.V. Litvin, Scientific Worker of the Laboratory  
«Analysis of Project Risks»

*Ltd. «Gazprom VNIIGAZ»*

In real situations, the work of project-oriented businesses takes place in conditions of high uncertainty. In particular, the moments of the receipt of project execution time, as well as costs and other factors are yutsya-random numbers with given or unknown to the laws of the distributions. Management capabilities offered by the use of stochastic process models of the current scenario management ene and portfelyami projects presented in this paper.

### Literature

1. N.P. Buslenko. Lectures on the theory of complex systems [Text] / N.P. Buslenko. – Moscow: Soviet radio, 1973. – 439 p.
2. D.L. Volkov. The theory of value-based management: financial and accounting aspects [Text] / D.L. Volkov. – SPb.: Graduate School of Management, 2008. – 320 p.
3. J. Kemeny. Finite Markov Chains [Text] / J. Kemeny, J. Siell. – M.: Nauka, 1970.
4. T. Copeland and oth. Companies value: assessment and management [Text] / T. Copeland, T. Koller, J. Murin. – Moscow: Olimp-Business, 2005. – 576 p.
5. A. Lowe. Simulation. Classic CS [Text] / A. Lowe, B. Kelton. – SPb.: Piter, 2004. – 848 pp.
6. D. Martin, B. Petit. VBM – Managing for value: the corporate response to the revolution of the shareholders [Text] / D. Martin, B. Petit. – Kiev: Balance Business Book, 2006. – 272 p.
7. E.R. Stavrovski. Planning for Development and Reconstruction of gas supply systems as Markov decision processes [Text] / E.R. Stavrovski, A.A. Kudryavtsev // Methodical research questions the reliability of large systems of energy. – 2000. – Vol. 51.
8. Management and monitoring the implementation of socio-economic target programs [text] / ed. Somersault V.V., Kovalevsky S.S. – M.: Librokom, 2009. – 400 p.
9. D.U. Forrester. Fundamentals of Cybernetics enterprises [Text] / D.U. Forrester. – Moscow: Progress, 1971. – 340 p.
10. R.A. Howard. Dynamic programming and Markov processes [Text] / R.A. Howard. – Moscow: Soviet radio, 1964. – 189 p.
11. R.A. Gebhard. Queuing process will bi-level hysteretic service rate control // Nav Res. Log Quart. 1967. Vol. 14, № 1.
12. E. Ottosson, F. Weissenrieder. Cash Value Added – A new method for measuring financial performance // Working Paper, Gothenburg Studies in Financial Economics. 1996.

### Keywords

Project-oriented companies; markov chains; current management; scenarios; economic value; cash value added; state; hysteretic control; key performance indicators.