

М. С. Юдаева

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РАНДОМИЗИРОВАННЫХ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ДЛЯ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ ПРИСОЕДИНЕНИЯ РОССИИ К ВТО*

Введение

В последнее время вновь активизировался процесс присоединения России к ВТО, поэтому актуальным является вопрос о возможных результатах этого стратегически важного решения. В условиях отсутствия надежных статистических данных о последствиях подобных сложных политических и экономических явлений полезной может оказаться экспертная информация о результатах этого процесса. В настоящей статье предпринята попытка использовать экспертные знания в виде нечисловой, неточной и неполной информации для построения оценок вероятностей реализаций различных сценариев присоединения России к ВТО. Предлагается моделировать рассматриваемый процесс с помощью структуры ориентированного дерева (дерева событий), в котором каждая вершина соответствует состоянию системы, а для дуг определены условные вероятности перехода системы из одного состояния в другое. Далее представлена методика обработки нечисловой, неточной и неполной информации эксперта для получения рандомизированных оценок условных вероятностей и оценок реализации отдельных и составных сценариев. Рассматриваются сценарии присоединения России к ВТО и возможные последствия для электроэнергетического сектора, а также представлены оценки высококвалифицированных независимых экспертов-экономистов и рассчитаны оценки вероятностей реализации последствий присоединения России к ВТО для энергетического сектора.

Дерево событий как инструмент представления экспертного знания

Для моделирования динамики сложных экономических систем предлагается использовать структуру ориентированного дерева, представляющего собой ациклический оргграф (ориентированный граф, не содержащий циклов), в котором вершины соответствуют событиям, а дуги снабжены информацией об условных вероятностях. Данный подход получил широкое применение для оценки риска отказа системы [1–4]. Механизм моделирования экономических явлений с помощью дерева событий был подробно

* Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 10-06-00130).

Мария Сергеевна ЮДАЕВА — ассистент кафедры экономической кибернетики Экономического факультета СПбГУ. В 2005 г. окончила Экономический факультет СПбГУ. В 2011 г. защитила канд. диссертацию. Область научных интересов — методы принятия решений в условиях неопределенности, рынки ценных бумаг.

© М. С. Юдаева, 2011

описан ранее [5], поэтому здесь будут кратко изложены основные идеи и формулы для расчета оценок вероятностей реализации отдельных и составных сценариев.

Рассмотрим ориентированное k -уровневое дерево событий. Корневая вершина $A^{(0)}$ предполагает отсутствие знаний исследователя об окружающем мире. Вершинам первого уровня $A^{(1)}[i_1]$, $i_1 = 1, \dots, r^{(1)}$, соединенным с корневой вершиной $A^{(0)}$ исходящими из нее дугами, соответствуют альтернативные состояния окружающей среды $A^{(1)}[i] \cap A^{(1)}[j] = \emptyset$, $i, j = 1, \dots, r^{(1)}$, $i \neq j$, $A^{(1)}[1] \cup \dots \cup A^{(1)}[r^{(1)}] = \Omega$. Аналогично, если рассматривать вершину $A^{(j)}[i_1, \dots, i_j]$, $i_1 = 1, \dots, r^{(1)}, \dots, i_j = 1, \dots, r^{(j)}(i_1, \dots, i_{j-1})$, то множество вершин, соединенных с вершиной $A^{(j)}[i_1, \dots, i_j]$ исходящими из нее дугами, образуют все возможные альтернативы при условии реализации события $A^{(j)}[i_1, \dots, i_j]$.

Концевая вершина $A^{(k)}[i_1, \dots, i_k]$, $i_1 = 1, \dots, r^{(1)}, \dots, i_k = 1, \dots, r^{(k)}(i_1, \dots, i_{k-1})$ уровня k является завершением цепочки событий $A^{(0)} \rightarrow A^{(1)}[i_1] \rightarrow \dots \rightarrow A^{(k)}[i_1, \dots, i_k]$, которую мы будем называть *отдельным сценарием*.

При использовании деревьев событий для описания реальных объектов и процессов зачастую оказывается целесообразным объединение некоторых концевых вершин графа $T^{(0,1,\dots,k)}$ в группы, которые соответствуют эквивалентным для исследователя результатам (например, различные сценарии присоединения России к ВТО могут привести к одному и тому же результату — подъему или спаду конкретной отрасли). Такие составные (агрегированные) вершины (события) дерева, представляющие собой объ-

единения $B_1, \dots, B_m, \dots, B_N$ вида $B_n = \bigcup_{s=1}^{S_n} A^{(k)}[i_1^{(s)}, \dots, i_k^{(s)}]$ попарно несовместных событий

$A^{(k)}[i_1^{(s)}, \dots, i_k^{(s)}]$, $i_1^{(s)} = 1, \dots, r^{(1,s)}, \dots, i_k^{(s)} = 1, \dots, r^{(k,s)}(i_1^{(s)}, \dots, i_k^{(s)})$, будем называть *составным сценарием*.

На рис. 1 представлен пример трехуровневого дерева событий, на котором выделен отдельный сценарий $A^{(0)} \rightarrow A^{(1)}[1] \rightarrow A^{(2)}[1,1] \rightarrow A^{(3)}[1,1,1]$, а концевые вершины $A^{(3)}[1,1,1]$, $A^{(3)}[1,2,1]$, $A^{(3)}[2,1,1]$, $A^{(3)}[2,2,1]$ объединены в составной сценарий (составное событие) B_1 .

Далее будем предполагать, что для вершин $A^{(j)}[i_1, \dots, i_j]$ уровня $j > 0$ определены отрицательные условные (переходные) вероятности

$$p^{(j-1,j)}(i_1, \dots, i_j) = P(A^{(j)}[i_1, \dots, i_j] // A^{(j-1)}[i_1, \dots, i_{j-1}]),$$

где $p^{(j-1,j)}(i_1, \dots, i_j)$ есть вероятность осуществления события $A^{(j)}[i_1, \dots, i_j]$ при условии, что произошло событие $A^{(j-1)}[i_1, \dots, i_{j-1}]$, $i_{j-1} = 1, \dots, r^{(j-1)}(i_1, \dots, i_{j-2})$, $i_j = 1, \dots, r^{(j)}(i_1, \dots, i_{j-1})$.

Полагая, что события $A^{(0)}$, $A^{(1)}[i_1]$, $A^{(2)}[i_1, i_2], \dots, A^{(k)}[i_1, \dots, i_k]$ образуют простую цепь Маркова, можно получить формулу

$$p^{(0,\dots,k)}(i_1, \dots, i_k) = P(A^{(1)}[i_1] // A^{(0)}) \cdot P(A^{(2)}[i_1, i_2] // A^{(1)}[i_1]) \dots, \quad (1)$$

$$P(A^{(k)}[i_1, \dots, i_k] // A^{(k-1)}[i_1, \dots, i_{k-1}]) = p^{(0,1)}(i_1) p^{(1,2)}(i_1, i_2) \dots p^{(k-1,k)}(i_1, \dots, i_k)$$

для вычисления вероятности $p^{(0,1,\dots,k)}(i_1, \dots, i_k)$ реализации отдельного сценария, т. е. осуществления цепочки событий $A^{(0)} \rightarrow A^{(1)}[i_1] \rightarrow A^{(2)}[i_1, i_2] \rightarrow \dots \rightarrow A^{(k)}[i_1, \dots, i_k]$. На рис. 1 указаны условные вероятности и представлена формула для расчета вероятности реализации отдельного сценария $A^{(0)} \rightarrow A^{(1)}[1] \rightarrow A^{(2)}[1,1] \rightarrow A^{(3)}[1,1,1]$.

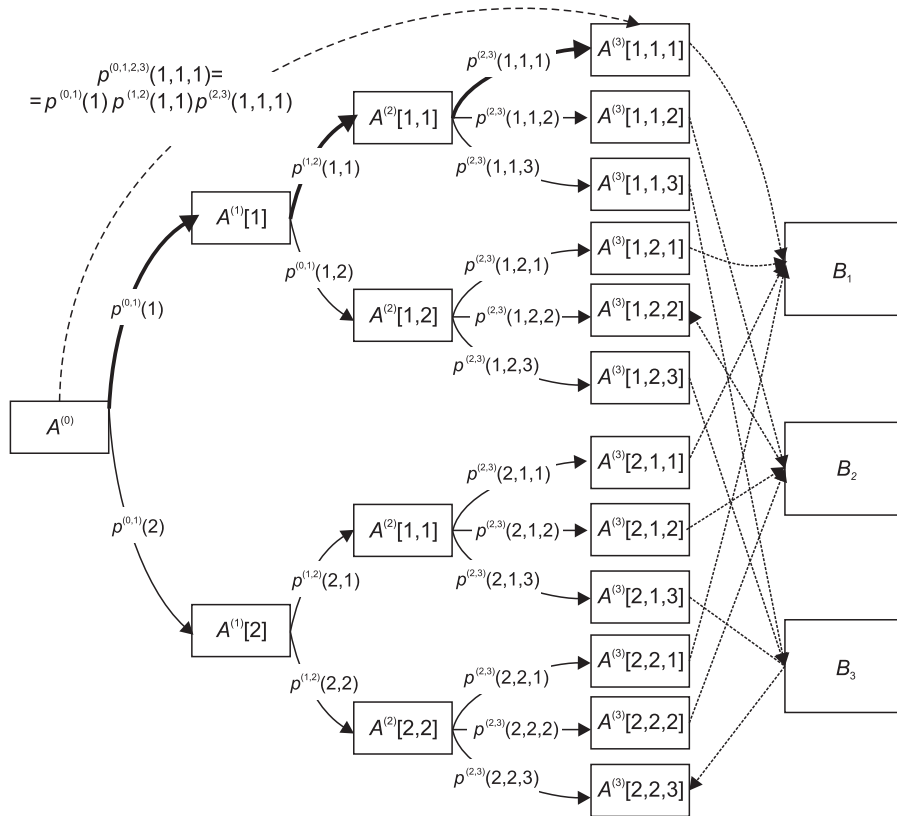


Рис. 1. Пример трехуровневого дерева событий.

Вероятность $P(B_n) = p_n^{(B)}$ составного сценария B_n можно вычислить по формуле

$$p_n^{(B)} = P(B_n) = P\left(\bigcup_{s=1}^{S_n} A^{(k)}[i_1^{(s)}, \dots, i_k^{(s)}]\right) = \sum_{s=1}^{S_n} p^{(0,1,\dots,k)}(i_1^{(s)}, \dots, i_k^{(s)}), \quad (2)$$

где $i_1^{(s)} = 1, \dots, r^{(1,s)}, \dots, i_k^{(s)} = 1, \dots, r^{(k,s)}(i_1^{(s)}, \dots, i_k^{(s)})$, $n = 1, \dots, N$.

Дерево событий с рандомизированными условными вероятностями

Предполагается, что эксперт способен упорядочить условные (переходные) вероятности и предоставить ординальную (нечисловую) информацию в виде высказываний: «Вероятность события A больше/равна, чем вероятность события B в условиях C », и интервальную (неточную) информацию: «Вероятность события A в условиях C находится в интервале от a до b ». Многочисленные эксперименты показали, что представление мнения эксперта в качестве ординальной и интервальной информации удобнее для него, чем в виде точных числовых данных [6–8]. Скорее всего, ординальной (нечисловой) и интервальной (неточной) экспертной информации об условных вероятностях будет недостаточно для однозначного определения вероятностей альтернатив,

поэтому мы будем называть такую информацию неполной. Рассмотрим альтернативы $A^{(j)}[i_1, \dots, i_j]$, $i_1 = 1, \dots, r^{(1)}(i_1), \dots, i_j = 1, \dots, r^{(j)}(i_1, \dots, i_{j-1})$, $j = 1, \dots, k$, которые становятся возможными при реализации события $A^{(j-1)}[i_1, \dots, i_{j-1}]$. Для упрощения восприятия введем обозначения: число событий — $r = r^{(j)}(i_1, \dots, i_{j-1})$, альтернативы — $A_s = A^{(j)}[i_1, \dots, i_{j-1}, s]$, условные вероятности — $p_s = p^{(j-1,j)}(i_1, \dots, i_{j-1}, s)$, $s = 1, \dots, r^{(j)}(i_1, \dots, i_{j-1})$.

Экспертную нечисловую, неточную и неполную информацию (ННН-информацию) можно оформить в виде системы равенств и неравенств $I = \{p_i > p_b, p_u = p_v; a_t \leq, p_i \leq \in b, i, l, u, v, t = 1, \dots, r\}$ для вероятностей p_1, \dots, p_r альтернатив A_1, \dots, A_r . Наличие экспертной информации позволяет уменьшить множество $P(r) = \{p = (p_1, \dots, p_r) \in R^r: p_i \leq 0, p_1 + \dots + p_r = 1\}$ возможных значений векторов условных вероятностей до множества допустимых значений вектора вероятностей $P(r; I)$. Таким образом, экспертная информация позволяет оценить вероятности альтернатив с точностью до множества $P(r; I)$. Моделируя неопределенность выбора вектора условных вероятностей с помощью рандомизации этого выбора, можно получить случайный вектор оценок условных вероятностей $\tilde{p}(I) = (\tilde{p}_1(I), \dots, \tilde{p}_r(I))$, $\tilde{p}_1(I) + \dots + \tilde{p}_r(I) = 1$, $\tilde{p}_i(I) \geq 0$, $i = 1, \dots, r$, равномерно распределенный на множестве $P(r; I)$. Построенную случайную величину можно рассматривать как случайную (рандомизированную) оценку вероятности p_i с точки зрения ННН-информации I . Естественной усредненной оценкой вероятности альтернативы A_i является математическое ожидание $\mu_i(I) = E \tilde{p}_i(I)$ случайной оценки $\tilde{p}_i(I)$ вероятности p_i . Стандартное отклонение $\sigma_i(I) = \sqrt{D \tilde{p}_i(I)}$ случайной оценки будем интерпретировать как меру точности полученной оценки. Чем меньше объем множества $P(r; I)$ допустимых значений вектора вероятностей $p = (p_1, \dots, p_r)$, тем точнее будет оценка вероятностей. Если экспертная информация указывает на единственное возможное значение вектора вероятностей, то стандартное отклонение $\sigma_i(I)$ будет равно нулю. Для дальнейших расчетов также потребуется рассчитать ковариацию $\text{cov}(\tilde{p}_i(I), \tilde{p}_j(I)) = c_{ij}(I)$ случайных вероятностей $\tilde{p}_i(I)$, $\tilde{p}_j(I)$, $i, j = 1, \dots, r$, $i \neq j$.

Возвращаясь к построенному k -уровневому дереву событий $T^{(0,1,\dots,k)}$, предположим, что в распоряжении исследователя имеется ННН-информация I , которая формализована в виде системы равенств и неравенств для всех переходных вероятностей $p^{(j-1,j)}(i_1, \dots, i_j)$, $i_1 = 1, \dots, r^{(1)}, \dots, i_j = 1, \dots, r^{(j)}(i_1, \dots, i_{j-1})$, $j = 1, \dots, k$. В этом случае мы можем рассматривать случайную величину $\tilde{p}^{(j-1,j)}(i_1, \dots, i_j; I)$ как рандомизированную оценку условной вероятности $p^{(j-1,j)}(i_1, \dots, i_j)$ в соответствии с ННН-информацией I , математическое ожидание $\mu^{(j-1,j)}(i_1, \dots, i_j; I)$ — как усредненную оценку вероятности реализации события $A^{(j)}[i_1, \dots, i_j]$, стандартное отклонение $\sigma^{(j-1,j)}(i_1, \dots, i_j; I)$ — как меру точности полученной оценки; ковариации $c_{kl}^{(j-1,j)}(i_1, \dots, k; l; I)$ необходимы для дальнейших расчетов. Таким образом, решается задача оценивания всех переходных вероятностей по ННН-информации I .

Подставляя в формулу (1) вместо вероятностей $p^{(0,1)}(i_1)$, $p^{(1,2)}(i_1, i_2)$, ..., $p^{(k-1,k)}(i_1, \dots, i_k)$ их рандомизированные оценки, получаем случайную оценку

$$\tilde{p}^{(0,1,\dots,k)}(i_1, \dots, i_k; I) = \tilde{p}^{(0,1)}(i_1; I) \cdot \tilde{p}^{(1,2)}(i_1, i_2; I) \times \dots \times \tilde{p}^{(k-1,k)}(i_1, \dots, i_k; I) \quad (3)$$

вероятности $p^{(0,1,\dots,k)}(i_1, \dots, i_k)$ реализации отдельного сценария, т. е. перехода из начала $A^{(0)}$ дерева событий $T^{(0,1,\dots,k)}$ к событию $A^{(k)}[i_1, \dots, i_k]$ через соответствующую фиксированную цепочку событий $A^{(0)}$, $A^{(1)}[i_1]$, ..., $A^{(k)}[i_1, \dots, i_k]$.

Из формулы (3) можно вывести формулы для математического ожидания $E\tilde{p}^{(0,1,\dots,k)}(i_1, \dots, i_k; I)$, дисперсии $D\tilde{p}^{(0,1,\dots,k)}(i_1, \dots, i_k; I)$ и ковариации $\text{cov}(\tilde{p}^{(0,1,\dots,k)}(i_1^{(s)}, \dots, i_k^{(s)}; I), \tilde{p}^{(0,1,\dots,k)}(i_1^{(t)}, \dots, i_k^{(t)}; I))$ случайной оценки вероятности $p^{(0,1,\dots,k)}(i_1, \dots, i_k)$ реализации отдельного сценария.

Если необходимо агрегировать некоторые конечные вершины дерева событий $T^{(0,1,\dots,k)}$, то можно получить формулы для математических ожиданий

$$E\tilde{p}_n^{(B)}(I) = E\left[\sum_{s=1}^{S_n} \tilde{p}^{(0,1,\dots,k)}(i_1^{(s)}, \dots, i_k^{(s)}; I)\right] = \sum_{s=1}^{S_n} E\tilde{p}^{(0,1,\dots,k)}(i_1^{(s)}, \dots, i_k^{(s)}; I) = \sum_{s=1}^{S_n} \mu(i^{(s)}; I), \quad (4)$$

дисперсий

$$\begin{aligned} D\tilde{p}_n^{(B)}(I) &= D\left(\bigcup_{s=1}^{S_n} A^{(n)}[i_1^{(s)}, \dots, i_k^{(s)}] \mid I\right) = \sum_{s,t=1}^{S_n} \text{cov}\left(\tilde{p}^{(0,1,\dots,k)}(i_1^{(s)}, \dots, i_k^{(s)}; I), \tilde{p}^{(0,1,\dots,k)}(i_1^{(t)}, \dots, i_k^{(t)}; I)\right) = \\ &= \sum_{s=1}^{S_n} D\tilde{p}^{(0,1,\dots,k)}(i_1^{(s)}, \dots, i_k^{(s)}; I) + 2 \sum_{\substack{s,t=1, \\ s < t}}^{S_n} \text{cov}\left(\tilde{p}^{(0,1,\dots,k)}(i_1^{(s)}, \dots, i_k^{(s)}; I), \tilde{p}^{(0,1,\dots,k)}(i_1^{(t)}, \dots, i_k^{(t)}; I)\right) \end{aligned} \quad (5)$$

случайных оценок $\tilde{p}_1^{(B)}(I), \dots, \tilde{p}_N^{(B)}(I)$ вероятностей $p_1^{(B)}, \dots, p_N^{(B)}$ агрегированных событий B_1, \dots, B_N соответственно.

Дерево событий для оценки последствий присоединения России к ВТО для электроэнергетики

Присоединение России к ВТО может оказать влияние на электроэнергетику, например, из-за повышения внутренних цен на энергоресурсы, уменьшения (возможно, кратковременного) спроса на энергоресурсы вследствие снижения производства некоторыми российскими предприятиями, увеличения спроса на энергоресурсы со стороны конкурентоспособных экспортно ориентированных предприятий, снижения затрат на персонал из-за роста (возможно, кратковременного) безработицы и усиления конкуренции среди работников на рынке труда, увеличения производительности по причине упрощения доступа к иностранным технологиям и финансовым ресурсам. Однако значимость указанных или, возможно, иных факторов оценить достаточно сложно, не имея статистических данных, поэтому для оценки последствий присоединения к ВТО можно обратиться к экспертным оценкам.

По данным опроса самих участников энергетического рынка (на декабрь 2009 г.), основными факторами [9], сдерживающими деловую активность в 2009 г., являются:

- недостаток финансовых средств — 52%;
- неопределенность экономической ситуации — 47%;
- изношенность и отсутствие оборудования — 36%;
- высокий уровень налогообложения — 27%;
- недостаточный спрос на внутреннем рынке — 24%.

При присоединении России к ВТО можно надеяться на приток иностранных инвестиций (при благоприятном инвестиционном климате в России и возвращении

стабильности в мировой экономике) и упрощение доступа к относительно дешевому кредитованию, что может решить проблемы *недостатка финансовых средств*.

При формировании сценария для определения последствий присоединении России к ВТО будем учитывать, что *стабилизация мировой экономической ситуации* и последующее улучшение условий доступа к кредитным ресурсам для увеличения инвестиций в новое оборудование также способствовали бы усилению деловой активности в сфере производства и распределения электроэнергии, газа и воды.

Исследуя *проблему изношенности оборудования*, можно отметить, что степень износа основных фондов в сфере производства и распределения электроэнергии, газа и воды на конец 2009 г. составила 55,5%, что больше, чем износ в сфере обрабатывающей промышленности (39,9%) и в сфере добычи полезных ископаемых (50,3%). Коэффициент обновления основных фондов в сфере производства и распределения электроэнергии, газа и воды ниже (3,6%), чем соответствующие показатели в обрабатывающей промышленности (6,3%) и добычи полезных ископаемых (6,3%). *Снижение таможенных тарифов на импортируемые товары и услуги*, используемые в электроэнергетике, может стимулировать обновление основных фондов в отрасли.

Согласие России на постепенную *либерализацию доступа прямых иностранных инвестиций в сферу электроэнергетики*, включая возможность приобретения активов электроэнергетических фирм может способствовать увеличению финансовых возможностей компаний в отрасли и увеличению инвестиций в необходимое для развития оборудование.

Проблема спроса на внутреннем рынке частично связана с уровнем цен. Рост цен на энергоресурсы, с одной стороны, способствует увеличению прибыли в отрасли, с другой — может уменьшить платежеспособный спрос из-за снижения конкурентоспособности потребителей энергоресурсов (предприятий). В процессе переговоров Европейский союз и Россия пришли к соглашению, согласно которому Россия *постепенно увеличивает цены на энергоресурсы* при присоединении к ВТО (данное соглашение является частью двустороннего соглашения с Европейским союзом о вхождении России в ВТО).

С учетом вышесказанного для оценки последствий рассматриваемого процесса был разработан набор сценариев, представленных в виде ориентированного дерева, состоящего из четырех уровней.

На **первом уровне** рассматриваются возможные результаты переговоров об условиях присоединения России к ВТО.

Первым возможным результатом переговоров будет согласие России только на существенное постепенное повышение внутренних цен на услуги электроэнергетики в ближайшие годы вплоть до уровня цен мирового рынка. На данный момент эта альтернатива закреплена в условиях двустороннего соглашения с ЕС и фактически реализуется на настоящий момент. Постепенное повышение цен может увеличить рентабельность продаж в отрасли, однако сложно оценить долгосрочные последствия роста цен на энергоресурсы в условиях присоединения России к ВТО на платежеспособный спрос со стороны производителей и его динамику во времени. Кроме того, при реализации данной альтернативы сохранится проблема доступа к финансовым ресурсам для обновления основных фондов.

Вторым возможным результатом переговоров будет согласие на существенное постепенное снижение в ближайшие годы таможенных тарифов на импортируемые товары (оборудование электростанций, измерительная техника и т. д.) и услуги (проект-

тирование и строительство объектов электроэнергетики и т. д.), используемые в электроэнергетике. При реализации данной альтернативы обновление основных фондов за счет импортируемого оборудования будет стоить дешевле, однако сохранится проблема финансовых ресурсов.

Третьим возможным результатом переговоров будет согласие на существенную постепенную либерализацию в ближайшие годы доступа прямых иностранных инвестиций в сферу электроэнергетики, включая возможность приобретения активов электроэнергетических фирм, в дополнение к первому и второму результатам. Если реализуется данный вариант, то обновление основных фондов за счет импортируемого будет стоить дешевле, при этом будут возможны прямые иностранные инвестиции, что упростит доступ к финансовым ресурсам.

На **втором уровне** рассматриваются возможные сроки присоединения России к ВТО, при этом предполагается, что они не зависят от результатов переговоров в области электроэнергетики, так как на данный момент основными препятствиями являются другие факторы (конфликт с Грузией, вопрос о возможных субсидиях в сельском хозяйстве и экспортные налоги на лесоматериалы [10–13]). Выделим три возможных периода присоединения России к ВТО.

1. Россия будет принята в ВТО до 2012 г. (до выборов Президента и формирования Законодательного собрания РФ в 2012 г.), когда, вероятно, будут сильны последствия мирового финансового кризиса и возможности притока иностранных инвестиций и обновления основных фондов будут минимальны.

2. Россия будет принята в ВТО в период 2012–2016 гг. (до выборов Президента и формирования Законодательного собрания РФ в 2016 г.), когда можно будет надеяться на постепенное восстановление мировой экономики и увеличение резервов по привлечению инвестиций. Также у российских предприятий появятся возможности подготовиться к вступлению в жесткую конкуренцию с иностранными компаниями.

3. Россия будет принята в ВТО после 2016 г. (после выборов Президента и формирования Законодательного собрания РФ в 2016 г.) или не будет принята.

На **третьем уровне** учитываются возможные состояния мировой экономики на момент присоединения России к ВТО, которые в значительной мере зависят от сроков, но не от результатов переговоров по условиям в сфере электроэнергетики. Мы выделяем три альтернативных состояния мировой экономики на данный момент.

1. Мировая экономика будет находиться в состоянии *спада*, т. е. произойдет ухудшение основных финансово-экономических показателей по отношению к уровню середины 2010 г.

2. Будет наблюдаться стагнация основных финансово-экономических показателей мировой экономики на указанном уровне.

3. Предполагается существенный рост основных финансово-экономических показателей мировой экономики по отношению к уровню середины 2010 г.

Четвертый уровень определяет различные варианты последствий присоединения России к ВТО для российских электроэнергетических компаний в зависимости от результатов переговоров об условиях, сроков присоединения и состояния мировой экономики в это время.

1. Будет наблюдаться спад отрасли, который выразится в том, что прибыль в отрасли, измеряемая в стабильной агрегированной валюте [14], через три года после вступления России в ВТО существенно (в среднем на 10–30% в год) снизится.

2. Будет иметь место стагнация, когда прибыль изменится несущественно (менее чем на 10%).

3. Будет происходить подъем в отрасли, характеризуемый существенным приростом (на 10–30%) годовой прибыли.

На рис. 2 показано дерево событий, графически отображающее различные сценарии присоединения России к ВТО. На первом уровне рассматриваются варианты результатов переговоров об условиях, на втором уровне представлены варианты периодов этого процесса. На третьем уровне учитывается состояние мировой экономики на данный момент. На четвертом уровне рассматриваются варианты падения, сохранения и роста прибыли в электроэнергетике.

Альтернативы четвертого уровня (81 шт.), полученные как результат влияния трех факторов — результатов переговоров об условиях, сроков присоединения и состояния мировой экономики в это время, были объединены в составные сценарии:

B_1 — «Падение прибыли в электроэнергетике», т. е. прибыль российских электроэнергетических компаний снизится более чем на 10%;

B_2 — «Сохранение прибыли в электроэнергетике», т. е. прибыль российских электроэнергетических компаний изменится не более чем на 10%;

B_3 — «Рост прибыли в электроэнергетике», т. е. прибыль российских электроэнергетических компаний увеличится более чем на 10%.

На основе web-анкеты [15] были получены независимые оценки двух высококвалифицированных экспертов-экономистов относительно условных вероятностей представленного дерева событий. Для первого уровня дерева событий первый эксперт сформулировал свое мнение в виде ННН-информации:

$$I_1^{(0,1)} = \{p^{(0,1)}(2) > p^{(0,1)}(1) > p^{(0,1)}(3); p^{(0,1)}(2) \geq 0,45; p^{(0,1)}(1) \leq 0,35; p^{(0,1)}(3) \leq 0,2\}.$$

Также были оформлены суждения второго эксперта:

$$I_2^{(0,1)} = \{p_1 > p_2 > p_3; p_1 \geq 0,6; p_2 \geq 0,2; p_3 \geq 0,1\}.$$

Используя метод построения оценок вероятностей альтернатив по нечисловой, неточной и неполной информации, рассмотренный выше, получим усредненные значения $\mu^{(0,1)}(i; I_1^{(0,1)})$ и рассчитаем стандартные отклонения $\sigma^{(0,1)}(i; I_1^{(0,1)})$ рандомизированных оценок вероятностей (табл. 1).

Информация первого эксперта позволяет прогнозировать второй исход переговоров с вероятностью 69,5%, обработка информации второго эксперта предполагает реализацию первого варианта с вероятностью 63,3%.

Оценки вероятностей реализации одного из возможных периодов, представленные в табл. 2, предполагают присоединение России к ВТО с 2012 по 2016 г. с вероятностью более 70%.

Также были получены оценки вероятностей реализации одного из состояний мировой экономики (табл. 3), позволяющие сделать вывод о том, что до 2012 г. ожидается стагнация, а после 2012 г. прогнозируется подъем мировой экономики.

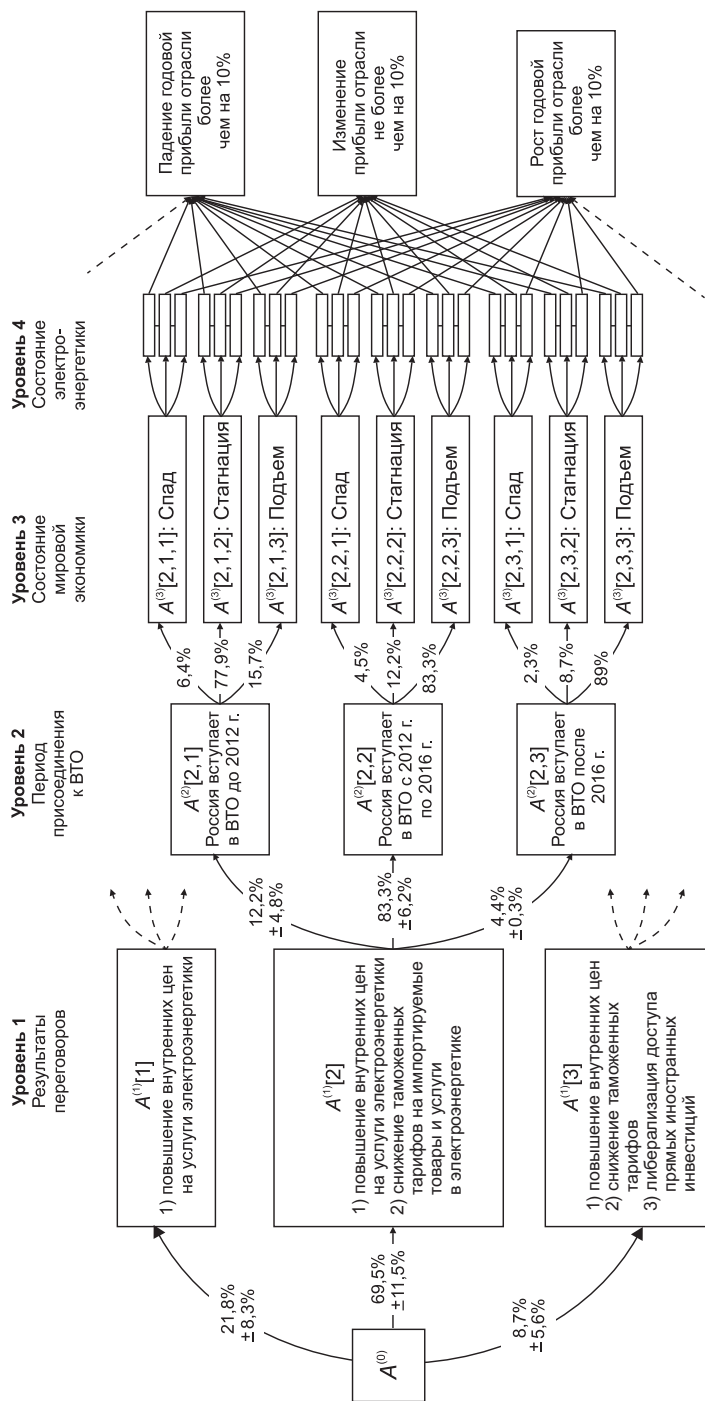


Рис. 2. Фрагмент дерева событий для оценки последствий присоединения России к ВТО для электроэнергетики.

Таблица 1. Оценки вероятностей реализации одного из вариантов переговоров об условиях присоединения России к ВТО, %

Номер события i	Результат переговоров об условиях присоединения к ВТО	Первый эксперт		Второй эксперт	
		$\mu^{(0,1)}(i; I_1^{(0,1)})$	$\sigma^{(0,1)}(i; I_1^{(0,1)})$	$\mu^{(0,1)}(i; I_2^{(0,1)})$	$\sigma^{(0,1)}(i; I_2^{(0,1)})$
1	$A^{(1)}[1]$: повышение внутренних цен на услуги электроэнергетики	21,83	8,27	63,33(3)	2,36
2	$A^{(1)}[2]$: $A^{(1)}[1]$ + снижение тарифов на импортное оборудование для электроэнергетики	69,50	11,46	23,33(3)	2,36
3	$A^{(1)}[3]$: $A^{(1)}[2]$ + доступ иностранного капитала	8,67	5,62	13,33(3)	2,36

Таблица 2. Оценка вероятностей реализации одного из периодов присоединения России к ВТО, %

Номер события i	Период присоединения России к ВТО	Первый эксперт		Второй эксперт	
		$\mu^{(1,2)}(j, i; I_1)$	$\sigma^{(1,2)}(j, i; I_1)$	$\mu^{(1,2)}(j, i; I_2)$	$\sigma^{(1,2)}(j, i; I_2)$
1	До 2012 г.	12,22(2)	4,78	4,82	2,88
2	С 2012 по 2016 г.	83,33(3)	6,24	72,59	13,15
3	После 2016 г.	4,44(4)	0,28	22,59	13,15

Примечание: $j = 1, 2, 3$.

Таблица 3. Оценка вероятностей реализации одного из состояний мировой экономики, %

Номер события i	Состояние мировой экономики	До 2012 г.		С 2012 по 2016 г.		После 2016 г.	
		Первый эксперт					
		$\mu^{(2,3)}(k, 1, i; I_1)$	$\sigma^{(2,3)}(k, 1, i; I_1)$	$\mu^{(2,3)}(k, 2, i; I_1)$	$\sigma^{(2,3)}(k, 2, i; I_1)$	$\mu^{(2,3)}(k, 3, i; I_1)$	$\sigma^{(2,3)}(k, 3, i; I_1)$
1	Спад	6,43	4,20	4,4(4)	2,83	2,3(3)	1,43
2	Стагнация	77,86	8,36	12,2(2)	4,78	8,6(6)	3,75
3	Подъем	15,71	5,88	83,3(3)	6,24	89,00	4,26
		Второй эксперт					
		$\mu^{(2,3)}(k, 1, i; I_2)$	$\sigma^{(2,3)}(k, 1, i; I_2)$	$\mu^{(2,3)}(k, 2, i; I_2)$	$\sigma^{(2,3)}(k, 2, i; I_2)$	$\mu^{(2,3)}(k, 3, i; I_2)$	$\sigma^{(2,3)}(k, 3, i; I_2)$
1	Спад	11,1(1)	7,08	4,58	2,86	4,4(4)	2,83
2	Стагнация	69,4(4)	11,95	14,79	6,12	12,2(2)	4,78
3	Подъем	19,4(4)	11,95	80,63	7,33	83,3(3)	6,24

Примечание: $k = 1, 2, 3$.

На основе оценок условных вероятностей дерева событий первого — третьего уровней (табл. 1–3) и четвертого уровня с использованием формул (4) и (5) были рассчитаны математические ожидания и стандартные отклонения рандомизированных оценок вероятностей составных сценариев B_1, B_2, B_3 (табл. 4).

Информация обоих экспертов позволяет сделать вывод о том, что в результате присоединения России к ВТО наиболее вероятен подъем в электроэнергетике, т. е.

прирост прибыли более чем на 10% (оценки вероятности составляют 43,7 и 60% для первого и второго эксперта соответственно). Также возможна стагнация в отрасли, т. е. колебание прибыли отрасли не более чем на 10%, с усредненной оценкой вероятности 37,2% (первый эксперт) и 24,8% (второй эксперт). Спад в электроэнергетике представляется возможным с оценкой вероятности 19,1% (первый эксперт) и 15,1% (второй эксперт). Стандартное отклонение оценок вероятностей составных событий находится в пределах 2,1–4,3% для первого эксперта и не превышает 5,33% для второго, что говорит о достаточно высокой точности полученных оценок.

Таблица 4. Оценки вероятностей реализации составных сценариев по ННН-информации двух экспертов об условных вероятностях дерева событий, %

Сценарий	$E\tilde{p}_n^{(B)}(I^{(1)})$	$\sigma_n^{(B)}(I^{(1)})$	$E\tilde{p}_n^{(B)}(I^{(2)})$	$\sigma_n^{(B)}(I^{(2)})$
B_1 : Падение прибыли (более 10%)	19,12	3,86	15,13	2,96
B_2 : Сохранение прибыли (-10%...10%)	37,18	2,16	24,78	4,33
B_3 : Рост прибыли (более 10%)	43,70	4,34	60,09	5,33

Полученные усредненные оценки $E\tilde{p}_n^{(B)}(I)$ вероятностей $p_n^{(B)}$ составных событий B_1, B_2, B_3 позволяют построить аппроксимацию кусочно-линейной плотности случайного попадания значения «темпа прироста прибыли в электроэнергетике» в интервалы $(-30\%, -10\%]$, $(-10\%, 10\%]$, $(10\%, 30\%]$. Если рассчитать математическое ожидание темпа прироста прибыли в электроэнергетике, то можно получить усредненный прогноз этого показателя за год исходя из информации первого эксперта — **4,9%**, второго эксперта — **9%**.

Заключение

В данной статье предлагается моделировать сценарии сложных экономических процессов на примере присоединения России к ВТО с помощью дерева событий и использовать экспертные знания для оценки вероятностей реализации различных сценариев. При анализе последствий рассматриваемого процесса наблюдается дефицит надежной статистической информации, и поэтому необходимо использовать доступную экспертную информацию, которая, как правило, является нечисловой, неполной и неточной. Естественно, для получения надежных прогнозов предполагается применение экспертных суждений высококвалифицированных специалистов.

На примере оценок двух независимых экспертов в области международных отношений показано, что нечисловая информация об условных вероятностях дерева событий дает возможность получать численные оценки вероятностей составных сценариев, агрегирующих несколько альтернатив, и измерять точность полученных оценок в форме стандартного отклонения рандомизированной оценки вероятности. Более того, численные расчеты позволяют сделать вывод о том, что оценки экспертов не противоречат друг другу и обладают достаточно высокой точностью (стандартное отклонение не превышает 5,33%).

Литература

1. *Dugan J., Sullivan K., Coppit D.* Developing a High-quality Software Tool for Fault Tree Analysis. Proc. IEEE Intern. Symp. on Software Rel. Eng. Boca Raton: IEEE. 1999. P. 222–231.
2. Fault Tree Book with Aerospace Applications / Fragole J., Minarik J., Railsback J., Vesely W., Dugan J. Washington NASA, 2002.
3. *Sullivan K., Coppit D., Dugan J.* The Galileo Fault Tree Analysis Tool. Proc. 29th annual Intern. Symposium on Fault-Tolerant Computing. Madison: IEEE, 1999. P. 232–235.
4. *Vesely W., Goldberg F., Roberts N., Haasl D.* Fault Tree Handbook. NUREG-0492. Washington, 1981.
5. *Колесов Д. Н., Хованов Н. В., Юдаева М. С.* Оценка вероятностей вариантов развития финансово-экономического развития // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 5: Экономика. 2007. Вып. 1. С. 130–140.
6. *Ларичев О. И., Мошкович Е. М.* Качественные методы принятия решений. М., 1996.
7. *Hogarth R. M.* Cognitive Processes and the Assessment of Subjective Probability Distribution // Journal of the American Statistical Association. 1975. Vol. 70, N 350. P. 271–289.
8. *Tversky A., Kahneman D.* Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases // Science. 1974. Vol. 46, N 1. P. 1124–1131.
9. Госкомстат. Россия в цифрах-2010. URL: www.gkm.ru (дата обращения: 5.11.2010).
10. ВТО: механизмы взаимодействия национальных экономик. Угрозы и возможности в условиях выхода на международный рынок / под ред. С. Ф. Сутырина. М.: Эксмо, 2008.
11. *Халевская Е. Д., Вавилова Е. В.* Всемирная торговая организация и российские интересы. М.: Магистр, 2009.
12. *Aslund A.* Why Doesn't Russia Join the WTO // The Washington Quarterly. Center for Strategic and International Studies. 2010. Vol. 33, N 2. P. 49–63.
13. *Tarr D., Volchkova N.* Russian Trade and Foreign Direct Investment Policy at the Crossroads // Policy Research Working Paper №5255. URL: www.worldbank.org. 2010 (дата обращения: 5.11.2010).
14. *Hovanov N. V., Kolari J. W., Sokolov M. V.* Computing Currency Invariant Indices with an Application to Minimum Variance Currency Baskets // Journal of Economic Dynamics and Control. 2004. Vol. 28, N 8. P. 1481–1504.
15. URL: <http://webanketa.com/forms/6cwk4c1f70vk6s1p69h62/> (дата обращения: 5.11.2010).

Статья поступила в редакцию 26 июня 2011 г.