

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ СТРУКТУР ПРИ ФОРМИРОВАНИИ СЦЕНАРНО-КОГНИТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ ЗНАНИЙ**

**Шульц В. Л.<sup>1</sup>**

*(Центр исследования проблем безопасности РАН, Москва)*

**Чернов И. В.<sup>2</sup>**

*(ФГБУН Институт проблем управления  
им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)*

*Работа посвящена исследованию проблемы повышения адекватности формирования сценарно-когнитивных моделей на основе экспертных знаний в ограниченном пространстве факторов. Одной из важнейших задач при формировании сценарно-когнитивной модели на основе экспертных знаний является проблема учет совокупного влияния внешней среды, т.е. тех факторов, которые остались за пределами структуры модели, однако оказывающие влияние на достижение необходимой точности результатов моделирования. При построении сценарно-когнитивных моделей сложных социально-экономических и политических систем обычно приходится применять существенное упрощение, которое заключается в том, чтобы все многообразие факторов и связей между ними заключить в относительно простой и обозримой модели. Качество модели, построенной на основе объединения экспертных данных, должно определяться адекватностью представлению образа реального объекта или обстановки. Следовательно, при формировании моделей с использованием экспертных знаний необходимо также «экспертно замыкать» структуру модели некоторыми виртуальными подструктурами, которые способны генерировать определенные сигналы, отражающие влияние внешней среды. Приведены типовые сигналы, имитирующие воздействия внешней среды. Представлены типовые структуры экспертной идентификации влияния внешней среды на факторы сценарных моделей. Приведена общая схема сценарно-когнитивной модели, сформированная на основе экспертных знаний и состоящая из множества реальных факторов сложной системы и виртуальных структур.*

**Ключевые слова:** сценарно-когнитивное моделирование, адекватность, сценарная модель, сценарный анализ, внешняя среда, виртуальные факторы.

---

<sup>1</sup> Владимир Леопольдович Шульц, д.фил.наук, профессор, член-корр. РАН (9380752@mail.ru).

<sup>2</sup> Игорь Викторович Чернов, к.т.н., в.н.с. (ichernov@gmail.com).

## **1. Введение**

Сценарный подход предполагает исследование процессов развития крупномасштабных систем, изучение сложных многоаспектных проблем, синтез и комплексный анализ сценариев рационального в рамках заданных целевых установок развития таких систем, обеспечивая тем самым эффективную поддержку процессов подготовки, принятия и реализации управленческих решений различного уровня.

Сценарии для лица принимающего решения (ЛПР), а также аналитиков являются эффективным и наглядным способом представления прогнозной информации об альтернативных направлениях развития социально-экономических систем, способствующим выработке эффективных управленческих решений в условиях рисков и неопределенностей [3].

Важнейшим качеством сценарной модели, как и прочих моделей, является адекватное представление образа реального объекта или обстановки. Когда мы говорим о сложных социально-экономических, политических, информационных системах, а чаще всего о комплексных сложных системах, включающих все эти и прочие аспекты, наиболее трудной задачей является выделение множества факторов модели.

В работе рассматривается проблема повышения адекватности сценарных моделей с применением методов сценарно-когнитивного моделирования [3] в ограниченном множестве факторов.

## **2. Общая схема построения сценарно-когнитивных моделей на основе экспертных данных**

Одной из важнейших задач при формировании сценарной модели на основе экспертных знаний является проблема включения в нее ограниченного множества факторов, без ущерба для точности и адекватности. При построении моделей подобных систем обычно приходится применять существенное упрощение, которое заключается в том, чтобы все многообразие факторов и связей между ними заключить в относительно простой и обобщимой модели.

Очевидно, что далеко не всегда модель, построенная при помощи такой группы факторов, способна адекватно описывать поведение сложной системы или развитие обстановки, поскольку сложная система с точки зрения формирования модели является открытой, вследствие чего существует сложная сеть взаимовлияний между факторами как включёнными в модель, так и не включёнными. Однако невозможно расширять модель бесконечно, включая в нее все новые и новые факторы внешней среды, привлекая все возрастающее количество экспертов в различных областях. Внешняя среда сложных систем может оказаться неисчерпаемой. Второй стороной процесса расширения множества факторов является, как ни странно, потеря адекватности модели, поскольку все труднее согласовывать экспертные знания, устанавливать причинно-следственные и иные связи и отслеживать их корректность, например дублирование. Следовательно, важнейшей проблемой моделирования является вопрос, как построить для подобной сложной системы понятную и практичную модель, включающую ограниченное число факторов, но как можно более адекватно отражающую происходящие в этой системе динамические процессы.

С этой целью в сценарную модель вводятся ряд виртуальных факторов и структур, отражающих возможные направления влияния внешней среды. На рис. 1 представлена общая схема построения сценарных моделей на основе экспертных знаний.

Описательная модель проблемы представляет собой базу данных накапливаемой и изменяемой информации о существующих и новых ситуациях в моделируемой сфере, в которой отражается информация по следующим взаимосвязанным компонентам:

- основные тенденции развития моделируемого объекта и окружения;
- интересы сторон, регионов страны и социальных групп и т.д.;
- уязвимости и угрозы реализации интересов сторон;
- ресурсы, которые могут быть использованы для реализации интересов;

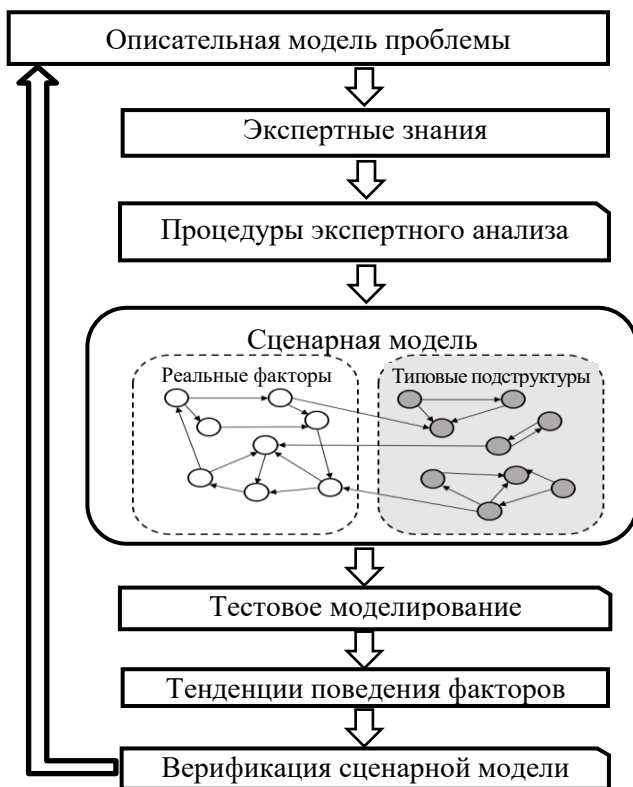


Рис. 1. Общая схема построения сценарных моделей

- внутренние и внешние конфликты, кризисные ситуации и возможные последствия их реализации;
- недопустимые сценарии развития ситуации для основных сторон, параметры состояний факторов, характеризующих недопустимые сценарии развития ситуации;
- механизмы ограничения параметров недопустимых состояний факторов (внутреннее законодательство, международные структуры, институты, договоры и т.п.) и т.п.

При формировании моделей сложной многоуровневой многоаспектной системы часто бывает затруднительно или невозможно собрать численные данные, характеризующих динамику

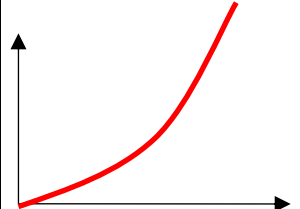
поведения значимых факторов, влияющих на обстановку. Особенно такая ситуация характерна для моделей таких сложных систем как страна, регион, отрасль и т.п. Исходя из этого особую ценность при выделении множества факторов и определения связей между ними приобретают механизмы и методы получения и согласования экспертных оценок [1,4,7].

Модели сложных систем могут охватывать различные сферы деятельности: социальную, экономическую, промышленную, политическую и др. Объединение знаний экспертов в различных сферах происходит на этапах формирования сценарной модели [2]. Построенная модель служит прежде всего в качестве средства объединения и согласования знаний, полученных из разных источников, об исследуемой ситуации или сложной системе. Одним из важнейших преимуществ построения подобных моделей является «отчуждение» экспертных знаний от их носителей. Экспертные знания уже заложены в модель и могут многократно использоваться в ситуациях, когда необходимые эксперты недоступны оператору-аналитику, а также при жестких ограничениях на время анализа ситуации или принятия решения.

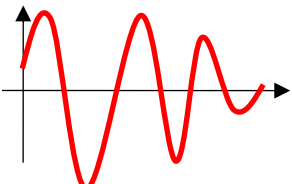
### **3. Типовые сигналы имитирующие влияния внешней среды на факторы сценарных моделей**

Качество сценарной модели, построенной на основе объединения экспертных данных, должно определяться адекватностью представлению образа реального объекта или обстановки. С этой целью при построении сценарно-когнитивных моделей с использованием экспертных знаний необходимо также «экспертно замыкать» структуру модели некоторыми виртуальными подструктурами, генерирующими определенные сигналы, отражающие влияние внешней среды. При этом влияние внешних факторов, непосредственно не включенных в модель, имитируется типовыми импульсными воздействиями, направленными на факторы модели. В таблице 1. представлены основные типы внешних воздействий на факторы исследуемой сценарной модели.

Таблица 1. Типы сигналов, имитирующих внешние воздействия

Тип внешнего воздействия	Характер внешнего воздействия	Изменения в структуре сценарной модели
$F_{\uparrow}$ 	Усиление существующего в сценарной модели взаимодействия между выделенными факторами	Формирование дублирующей взаимосвязи между факторами, приводящей к усилению значимости выделенных факторов сценарной модели
$F_{\downarrow}$ 	Подавление существующего в сценарной модели взаимодействия между выделенными факторами	Формирование дублирующей взаимосвязи между факторами, приводящей к снижению значимости выделенных факторов сценарной модели или к их противоположному влиянию
$F_{\perp}$ 	Усиление существующего в сценарной модели взаимодействия между выделенными факторами по модулю	Формирование дублирующей избирательной взаимосвязи между факторами, приводящей к усилению значимости выделенных факторов сценарной модели независимо от их динамики
$F_{\top}$ 	Ослабление системного взаимодействия по модулю	Формирование дублирующей избирательной взаимосвязи между факторами, приводящей к ослаблению значимости выделенных факторов сценарной модели независимо от их динамики
$F_{+}$ 	Одиночное усиливающее воздействие на выбранный фактор сценарной модели	Неконтролируемое (возможно, временно) субъектом управления кратковременное усиление фактора модели

F.		Одинокое ослабляющее воздействие на выбранный фактор сценарной модели	Неконтролируемое (возможно, временно) субъектом управления кратковременное ослабление фактора модели
F <sub>=</sub>		Колебательные процессы, ограниченные по амплитуде	Потенциальная скрытая неустойчивость структуры сценарной модели (уязвимость), которая при активации воздействий F <sub>↑</sub> и F <sub>↓</sub> может привести к риску влияния деструктивных процессов на реализацию цели управления
F <sub>&lt;=</sub>		Деструктивный процесс, ограниченный по времени	Использование кратковременного перехвата управления («окна уязвимости») для неадекватной реакции субъекта управления или обнаружения уязвимостей
F <sub>&gt;=</sub>		Процесс затухания дестабилизирующих воздействий, ограниченный по времени	Использование кратковременного перехвата управления («окна уязвимости») для маскировки структурных уязвимостей
F <sub>&lt;</sub>		Деструктивные процессы	Активация постоянных деструктивных воздействий в структуре модели объекта управления

$F_2$		Стабилизирующие процессы	Выведение структуры модели объекта управления из нестабильного состояния
-------	---	--------------------------	--

Легко заметить, что подобные воздействия также имеют экспертную интерпретацию и хорошо понимаемы при составлении моделей.

Использование сценарных моделей с монотонными и линейными причинно-следственными взаимосвязями практически всегда в процессе исследования приводит к результатам, далеким от действительной ситуации, поскольку невозможно постоянно расширять множество факторов модели. Сложные объекты или ситуации являются с этой точки зрения открытыми системами. Внесение в сценарную модель нелинейности или структур, имитирующих внешние сигналы, позволяет приблизить моделируемые процессы к действительности, описывая влияние внешней среды в ограниченном множестве факторов и типовых подструктур.

Кроме того, в зависимости от характера получаемых в процессе сценарного моделирования результатов зачастую необходимо изменять структуру сценарной модели. Например, нестабильность поведения одного значимого фактора и рост другого фактора в течении определенного времени (шагах моделирования) способен вызвать реализацию дополнительных управленческих воздействий в качестве реакции на критическое с точки зрения ЛПР изменения ситуации. Подобные управленческие воздействия могут быть направлены на изменения характера зависящих от ситуации причинно-следственных связей между факторами, на активацию или деактивацию определенного фактора или подмножества факторов, инициирование внешних импульсов и т.п. Таким образом, для обеспечения большей адекватности модели исследуемому объекту управления или анализируемой ситуации необходимо наличие возможности гибкой перестройки



структуры и состава факторов модели в зависимости от результатов оценивания текущих результатов сценарного моделирования, переходя тем самым к сценарно-когнитивным моделям, основанным на правилах, реализованным на функциональных графах. С этой целью введем в качестве аргументов функций весов дуг графа параметра, значение которого соответствует базовому типу динамики факторов, присвоив, таким образом, каждому  $i$ -му фактору идентификатор текущей динамики  $SC_i$  (см. таблицу 2).

Таблица 2. Идентификаторы динамик факторов

Идентификатор сценария, $SC_i$	Тип динамики фактора
0	не определен (не рассчитывается)
1	рост
2	падение
3	постоянно
4	колебания, ограниченные по амплитуде
5	расходящиеся колебания
6	сходящиеся колебания

Алгоритм анализа динамик  $i$ -го фактора модели  $f_i$  ( $f_i$  – логарифм значения  $i$ -го фактора) для периода времени с  $t_k$  до  $t_n$  включает несколько этапов [5, 6]:

1. Выбрать временной диапазон, на котором происходит анализ динамики факторов. На этом диапазоне необходимо определить два множества: локальных минимальных  $f_i^{min}$  и максимальных  $f_i^{max}$  значений (точек перегиба) анализируемого фактора модели, а также два множества шагов моделирования этих локальных экстремумов:  $t_i^{min}$  и  $t_i^{max}$ . При формировании этих множеств необходимо исключить из рассмотрения незначительные («ложные») локальные экстремумы.

2. Определить мощности множеств  $col_i^{min} = |f_i^{min}|$  и  $col_i^{max} = |f_i^{max}|$ .

3. Если  $col_i^{min} < 2$  или  $col_i^{max} < 2$ , то переход к шагу 4, в ином случае переход к шагу 8.

4. Производятся дальнейшие расчеты только с минимальными или максимальными значениями, поэтому индексы  $min$

и  $max$  не используются. Определить средние значения времени и значений фактора:  $t_i^{cp}$  и  $f_i^{cp}$ .

5. Рассчитать значение ковариаций и выборочных дисперсий:

$$(1) S(f_i) = cov(f_i, f_i) = \sum_{j=k}^n \frac{(f_i(j) - f_i^{cp})^2}{n-k+1},$$

$$(2) cov(f_i, t_i) = \sum_{j=k}^n \frac{(f_i(j) - f_i^{cp}) * (t(j) - t_i^{cp})}{n-k+1},$$

$$(3) S(t_i) = cov(t_i, t_i) = \sum_{j=k}^n \frac{(t(j) - t_i^{cp})^2}{n-k+1}.$$

6. Рассчитать угол наклона линии регрессии, который иллюстрирует изменение значение минимума или максимума выбранного фактора с ростом шага:

$$(4) \theta_i = \frac{cov(f_i, t_i) cov(f_i, t_i)}{cov(t_i, t_i) cov(t_i, t_i)}.$$

7. Определить качество подобранной регрессии, вычислив коэффициент детерминации  $R^2$ , который определяет, насколько хорошо подобрана регрессия:

$$(5) \text{ если } cov(f_i, t_i) = 0(t_i, t_i) = 0, \text{ то } R^2 = 0,$$

$$(6) \text{ иначе } R^2 = \left( \frac{cov(f_i, t_i)}{\sqrt{cov(t_i, t_i)} * \sqrt{cov(f_i, f_i)}} \right)^2.$$

8. Расчет двух линий регрессии. Определить средние значения для каждого множества  $f_i^{min}$ ,  $f_i^{max}$ ,  $t_i^{min}$  и  $t_i^{max}$ :

$$(7) f_i^{min cp} = \sum_{j=1}^{col_i^{min}} \frac{f_i^{min}(j)}{col_i^{min}},$$

$$(8) t_i^{min cp} = \sum_{j=1}^{col_i^{min}} \frac{t_i^{min}(j)}{col_i^{min}},$$

$$(9) f_i^{max cp} = \sum_{j=1}^{col_i^{max}} \frac{f_i^{max}(j)}{col_i^{max}},$$

$$(10) t_i^{max cp} = \sum_{j=1}^{col_i^{max}} \frac{t_i^{max}(j)}{col_i^{max}}.$$

9. Расчет ковариаций и дисперсий для этих множеств:

$$(11) cov(f_i^{max}, f_i^{max}) = \sum_{j=1}^{col_i^{max}} \frac{(f_i^{max}(j) - f_i^{max cp})^2}{col_i^{max}},$$

$$(12) cov(t_i^{max}, t_i^{max}) = \sum_{j=1}^{col_i^{max}} \frac{(t_i^{max}(j) - t_i^{max cp})^2}{col_i^{max}},$$

$$(13) cov(f_i^{max}, t_i^{max}) = \sum_{j=1}^{col_i^{max}} \frac{(f_i^{max}(j) - f_i^{max cp}) * (t_i^{max}(j) - t_i^{max cp})}{col_i^{max}},$$

$$(14) \quad cov(f_i^{min}, f_i^{min}) = \sum_{j=1}^{col_i^{min}} \frac{(f_i^{min}(j) - f_i^{min\text{cp}})^2}{col_i^{min}},$$

$$(15) \quad cov(t_i^{min}, t_i^{min}) = \sum_{j=1}^{col_i^{min}} \frac{(t_i^{min}(j) - t_i^{min\text{cp}})^2}{col_i^{min}},$$

$$(16) \quad cov(f_i^{min}, t_i^{min}) = \sum_{j=1}^{col_i^{min}} \frac{(f_i^{min}(j) - f_i^{min\text{cp}})(t_i^{min}(j) - t_i^{min\text{cp}})}{col_i^{min}}.$$

10. Вычислить коэффициент детерминации  $R^2$  (см. шаг 7).

11. Рассчитать углы наклона линий регрессии для двух множеств локальных максимумов и минимумов:

$$(17) \quad \theta_i^{max} = \frac{cov(f_i^{max}, t_i^{max})}{cov(t_i^{max}, t_i^{max})},$$

$$(18) \quad \theta_i^{min} = \frac{cov(f_i^{min}, t_i^{min})}{cov(t_i^{min}, t_i^{min})}.$$

12. Определить тип динамики фактора на основе вычисленных параметров регрессий.

13. Линия регрессии представлена формулой  $y = \alpha + \theta x$ . Определить оставшиеся параметры линий регрессий для визуального представления результатов расчета. Параметры для верхней и нижней (по точкам перегиба локальных максимумов и минимумов) линии регрессии:

$$(19) \quad \alpha_i^{max} = f_i^{max\text{cp}} - \theta_i^{max} t_i^{max\text{cp}},$$

$$(20) \quad \alpha_i^{min} = f_i^{min\text{cp}} - \theta_i^{min} t_i^{min\text{cp}}.$$

14. Выражения для линий регрессий, по которым находятся координаты линий для визуального представления тенденций и для определения значений  $SC_i$ :

$$(21) \quad f_i^{max}(t) = \alpha_i^{max} + \theta_i^{max} t$$

$$(22) \quad f_i^{min}(t) = \alpha_i^{min} + \theta_i^{min} t.$$

#### **4. Типовые структуры экспертной идентификации влияния внешней среды на факторы сценарных моделей**

В таблице 3 приведены типовые виртуальные графовые подструктуры, отвечающих за имитацию внешних воздействий на сценарную модель. Используются следующие обозначения:  $V_{i,j}$  – вес дуги между факторами (сила взаимосвязи)  $i$  и  $j$ ;  $I_k$  – импульс, исходящий из фактора (вершины графа)  $k$ ;  $I_{вн}$  – внешнее

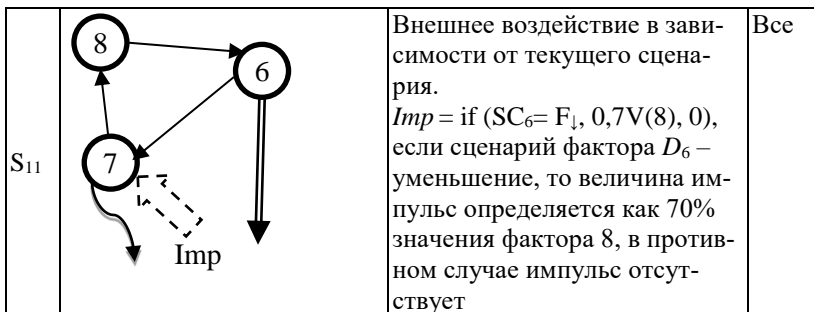
воздействие на выбранный фактор (импульс) – управленческое решение;  $D_{ij}$  – вес дуги;  $Imp$  – внешний импульс;  $SC_5$  – тип динамики  $i$ -го фактора (рост, падение, колебание и т.д.).

Таблица 3. Типовые подструктуры имитационных моделей

Id	Типовая топология	Параметры	Id <sub>s</sub>
S <sub>1</sub>		если $D_{1,2}D_{1,3}D_{3,2} > 0$ , $Imp > 0$	$F_{\uparrow}$
		если $D_{1,2}D_{1,3}D_{3,2} > 0$ , $Imp < 0$	$F_{\downarrow}$
		если $D_{1,2}D_{1,3}D_{3,2} < 0$ , $Imp \neq 0$	$F_{=}$
S <sub>2</sub>		непосредственное соединение опосредованно связанных факторов (дублирование связи)	$F_{\uparrow}$ $F_{\downarrow}$ $F_{\perp}$ $F_{\top}$
S <sub>3</sub>		усиливающая нелинейная вза- имосвязь $D_{2,1} = c I_2 $ , $c > 0$	$F_{\perp}$
		ослабляющая нелинейная вза- имосвязь $D_{2,1} = c I_2 $ , $c > 0$	$F_{\top}$
S <sub>4</sub>		внешний положительный им- пульс $Imp > 0$	$F_{+}$
		ослабляющее внешнее возде- йствиe $Imp < 0$	$F_{-}$
S <sub>5</sub>		добавленный расходящийся колебательный контур $(D_{3,4}D_{4,5}D_{4,5}) > 1$ , $(D_{3,1}D_{1,2}D_{2,5}) < 1$	$F_{<}$
		добавленный сходящийся кон- тур $0 < (D_{3,4}D_{4,5}D_{4,5}) < 1$ , $-1 < (D_{3,1}D_{1,2}D_{2,5}) < 0$	$F_{>}$
		добавленный временный рас- ходящийся контур $(D_{3,4}D_{4,5}D_{4,5}) > 1$ , $(D_{3,1}D_{1,2}D_{2,5}) < 1$ , вершина 3 активна на проме- жутке времени $\Delta t$	$F_{<=}$

		<p>добавленный временный сходящийся контур</p> $0 < (D_{3,4}D_{4,5}D_{4,5}) < 1,$ $-1 < (D_{3,1}D_{1,2}D_{2,5}) < 0,$ <p>вершина 3 активна на промежутке времени <math>\Delta t</math></p>	$F_{>=}$
$S_6$		<p>подключаемая подструктура</p> $D_{1,7} = \text{if } [SC_5 = F_{\uparrow}, -5\text{Imp}(1), 0]$ <p>Если динамика фактора <math>D_5</math> «рост», вес <math>D_{1,7}</math> «-5», если нет – вес <math>D_{1,7} = 0</math> (дуга не существует)</p>	Все
$S_7$		<p>подключаемая подструктура</p> $D_{1,7} = \text{if } [SC_5 = F_{\uparrow}, -5\text{Imp}(1), 0]$ <p>Если динамика фактора <math>D_5</math> «рост», вес <math>D_{1,7}</math> «-5», если нет – вес <math>D_{1,7} = 0</math> (дуга не существует)</p>	Все
$S_8$		<p>межмодельное взаимодействие</p> $D_{1,7} = \text{if } [SC_6 = F_{\downarrow}, -1I(1), 0]$ $D_{6,3} = \text{if } [SC_6 = F_{=}, 5I(6), -1(I(6) + I(8))]$ $D_{10,3} = \text{if } [SC_2 = F_{\uparrow} \ \& \ S_3 = F_{\#}, -1, 0]$	Все

<p>S<sub>9</sub></p>		<p>Межуровневое взаимодействие в иерархической структуре</p> <p><math>D_{1,7} = \text{if } (SC_6 = F_1, -II(1), 0)</math>  <math>D_{6,3} = \text{if } (SC_6 = F_2, 5I(6), -1(I(6) + I(8)))</math>  <math>D_{10,3} = \text{if } (SC_2 = F_1 \&amp; \&amp; S_3 = F_\#, -II(10), 0)</math>  <math>D_{8,13} = \text{if } [SC_6 = F_&lt;, -II(10), 0]</math>  <math>D_{1,12} = \text{if } [SC_2 = F_2 \parallel S_6 = F_&lt;, -II(1), I(1)]</math></p>	<p>Все</p>
<p>S<sub>10</sub></p>		<p>Актуальный мониторинг</p> <p><math>D_{1,7} = \text{if } (SC_2 = F_1, -II(1), 0)</math>  <math>SC_2(t) = f(D_2(t - k), D_2(t - k + 1), \dots D_2(t))</math>,          где <math>k</math> – количество предыдущих шагов, учитываемых при расчете сценария</p> <p>Увеличение запаздывания мониторинга</p> <p><math>D_{1,7} = \text{if } (SC_2 = F_1, -II(1), 0)</math>  <math>SC_2(t) = f(D_2(t - k - z), D_2(t - k - z + 1), \dots D_2(t - z))</math>,  <math>z</math> – кол-во последних шагов, не учитываемых при расчете сценария</p> <p>меняющаяся частота периодов мониторинга</p> <p><math>D_{1,7} = \text{if } (SC_2 = F_1, -II(1), 0)</math>,  <math>SC_2(t_p) = f[D_2(t_p - k - z), D_2(t_p - k - z + 1), \dots D_2(t_p - z)]</math>,          где <math>p</math> – период обновления определения типа поведения факторов.</p>	<p>Все</p>



Следует также отметить, что возможно не только влияние сигналов, исходящих из подобных подструктур на значимые факторы модели, но и обратное влияние. Включение виртуальных подструктур позволит повысить адекватность сценарных моделей, имитировав влияние внешней среды без расширения множества факторов.

Таким образом, сформированная на основе экспертных знаний сценарно-когнитивная модель разбивается на части подструктуры, одна из которых отражает обычное взаимовлияние факторов, а другая предназначена для формирования типовых сигналов из внешней среды, тем самым экспертно замыкая сложную модель в ограниченном пространстве факторов (рис. 2).

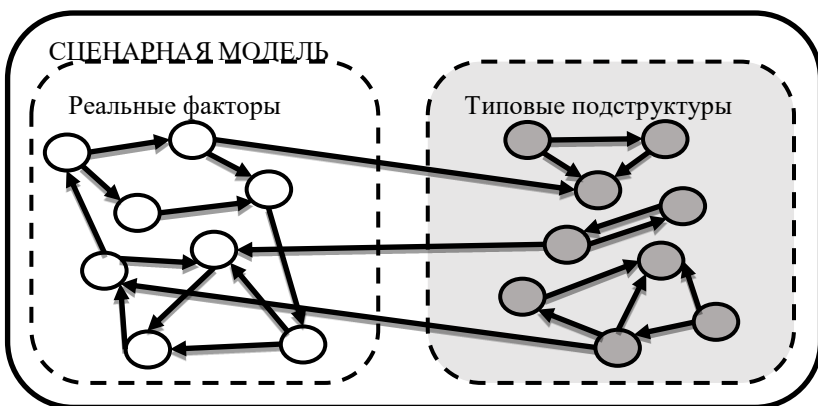


Рис. 2. Сценарная модель, сформированная на основе экспертных знаний и виртуальных факторов

Верификация построенных подобным образом моделей происходит в процессе тестового моделирования. Если в результате такого моделирования полученные тенденции изменения факторов не противоречат логико-математическому описанию собранной экспертной информации, то модель является непротиворечивой.

Для исследования подобных сценарно-когнитивных моделей необходимо создание в соответствующем комплексе сценарного моделирования библиотеки типовых графовых подструктур. Для практического использования подобных типовых подструктур необходимо также предусмотреть программные средства последовательного попарного объединения моделей в единую сценарную модель.

Таким образом, показано, что процедуры формирования моделей на основе экспертных знаний и с использованием типовых подструктур, генерирующих сигналы внешней среды, могут быть использованы для построения сценарных моделей сложным систем и обстановок.

## **5. Заключение**

Таким образом, в работе предложена методика формирования и исследования сценарно-когнитивных моделей, содержащих знания экспертов, на основе логико-математического описания ситуации.

Применение предложенного алгоритма сценарно-событийной идентификации динамики факторов позволяет перейти к сценарно-когнитивному моделированию, основанному на правилах, и реализовать тем самым технологию событийных функциональных нелинейных взаимосвязей между факторами модели, в частности многослойного (в том числе иерархического) представления структуры мультимодели, что обеспечит возможность эффективного применения знаний экспертов в различных ситуациях и предметных областях на стадии разработки адекватных сценарных моделей и при исследовании процессов развития сложных социально-экономических систем и ситуаций.



Разработанные типовые подструктуры модели, имитирующие влияние внешней среды, позволяют также повысить адекватность построения модели на основе экспертных данных и при использовании ограниченного множества факторов и взаимосвязей.

### Литература

1. ГУБАНОВ Д.А., КОРГИН Н.А., НОВИКОВ Д.А., РАЙКОВ А.Н. *Сетевая экспертиза* / Под ред. чл.-к. РАН Д.А. Новикова, проф. А.Н. Райкова. – М.: Эгвес, 2010. – 168 с.
2. ДРАНКО О.И., НОВИКОВ Д.А., РАЙКОВ А.Н., ЧЕРНОВ И.В. *Управление развитием региона. Моделирование возможностей*. – М.: URSS, ООО «ЛЕНАНД», 2023. – 432 с.
3. *Модели и методы анализа и синтеза сценариев развития социально-экономических систем*: в 2-х кн. / Под ред. В.Л. Шульца, В.В. Кульбы. – М.: Наука, 2012. – Кн. 1 – 304 с., кн. 2. – 358 с.
4. ОРЛОВ А.И. *Искусственный интеллект: экспертные оценки* : учебник. – М.: Ай Пи Ар Медиа, 2022. – 436 с.
5. SEN A., SRIVASTAVA M. *Regression Analysis: Theory, Methods, and Applications*. – Springer-Verlag, Berlin, 2011. – 348 p.
6. STULP F., SIGAUD O. *Many Regression Algorithms, One Unified Model: A Review* // *Neural Networks*. – 2015. –Vol. 69. – P. 60–79.
7. *The Delphi Method: Techniques and Applications* / Eds.: H.A. Linstone, M. Turoff. 1975. – 620 p.

### THE UTILIZATION OF VIRTUAL STRUCTURES IN THE FORMATION OF SCENARIO-COGNITIVE MODELS BASED ON THE UTILIZATION OF EXPERT KNOWLEDGE

**Vladimir Schultz**, Institute of Socio-political Research of RAS, Moscow, Doctor of Philosophy, professor, Corresponding Member RAS (9380752@mail.ru).

**Igor Chernov**, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher (chernov@ipu.ru).

*Abstract: This study is dedicated to investigating the problem of enhancing the adequacy of scenario-cognitive models based on expert knowledge within a limited set of factors. One of the most important tasks in the formation of a scenario-cognitive model based on expert knowledge is the problem of taking into account the total influence of the external environment, i.e., those factors that remain outside the structure of the model, but influence the achievement of the required accuracy of modeling results. When constructing scenario-cognitive models of complex socio-economic and political systems, it is usually necessary to apply a significant simplification, which consists in concluding all the diversity of factors and connections between them in a relatively simple and understandable model. The quality of a model built on the basis of combining expert data should be determined by the adequacy of the image of a real object or situation. Consequently, when forming models using expert knowledge, it is also necessary to “expertly close” the structure of the model with some virtual sub-structures that are capable of generating certain signals reflecting the influence of the external environment. Typical signals simulating the influences of the external environment are presented. Typical structures of expert identification of the impact of the external environment on scenario model factors are introduced. An overall pattern of the scenario-cognitive model is presented, which is formed based on expert knowledge and consists of a multitude of actual factors of a complex system and proxy structures.*

**Keywords:** scenario-cognitive modeling, adequacy, scenario model, scenario analysis, external environment, proxy factors.

УДК 005.7

ББК 13.42

DOI: 10.25728/ubs.2024.108.9

*Статья представлена к публикации  
членом редакционной коллегии Р.М. Нижегородцевым.*

*Поступила в редакцию 12.01.2024.*

*Опубликована 31.03.2024.*