Применение методов системного анализа и нечетких иерархий для оптимизации стратегического продвижения высокотехнологичной продукции

Нестерук Л.Г.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

E-mail: lgnesteruk@etu.ru

Аннотация. **В статье рассмотрена актуальная проблема оптимизации структуры деревьев целей инновационных предприятий на примере продвижения отечественных программно-аппаратных комплексов (ПАК) на рынок объектов критической информационной инфраструктуры (КИИ). Выявлены системные ограничения классических подходов к экспертному расчету коэффициентов относительной важности (КОВ), обусловленные когнитивными искажениями детерминированных оценок и нарушением транзитивности. Предложен и верифицирован комплексный подход, интегрирующий классический метод анализа иерархий (AHP) Т. Саати и метод нечеткого анализа иерархий (Fuzzy-AHP). Впервые продемонстрирован сквозной сопоставительный расчет векторов локальных приоритетов, доказана более высокая аналитическая емкость и риск-устойчивость нечеткого моделирования в условиях глубокой неопределенности внешней макросреды.**

Ключевые слова: системный анализ; метод анализа иерархий; Fuzzy-AHP; дерево целей; инновационные предприятия; критическая информационная инфраструктура; риск-ориентированное управление

I. Введение

Современная траектория развития российской экономики жестко детерминирована необходимостью достижения форсированного технологического суверенитета, в первую очередь на высокотехнологичных внутренних рынках B2B- и B2G-сегментов. Особое значение приобретает сектор обеспечения комплексной безопасности объектов критической информационной инфраструктуры (КИИ), функционирование которого регламентируется Федеральным законом № 187-ФЗ [1]. Процесс коммерциализации и вывода на рынок отечественной наукоемкой продукции, в том числе программно-аппаратных комплексов (ПАК) промышленного назначения (среди них можно назвать доверенные системы управления технологическими процессами класса SCADA на российских процессорах) – сталкивается с рядом специфических барьеров [2, 3]. К таковым можно отнести: жесткий государственный комплаенс, асимметрия информации, экосистемный характер конкурентной среды и высокая капиталоемкость инновационных разработок с длительным периодом окупаемости инвестиций.

Принимаемые высшим руководством наукоемких предприятий решения в рамках долгосрочного стратегического планирования требуют сквозного методического обоснования. В условиях постоянно возрастающей степени неустойчивости параметров макросреды классические инструменты интуитивно-эмпирического менеджмента оказываются неэффективными. Это обусловливает необходимость внедрения строгого математического аппарата системного анализа для структурирования, декомпозиции и оптимизации целевых ориентиров организации [4].

II. Ограничения традиционных подходов к формированию структуры системы стратегических целей

Классический подход к проектированию деревьев целей наукоемких проектов базируется на прямой детерминированной оценке или же путём ранжирования локальных подцелей с привлечением команд экспертов, при этом реализуется метод расчета средних значений коэффициентов относительной важности (КОВ). Данный подход обладает существенными ограничениями методологического характера. Во-первых, экспертные суждения аппроксимируются «четкими», или детерминированными, числами, что противоречит интервальной природе человеческого мышления в ситуации неопределенности. Так, инновационный менеджер не способен дать уверенную оценку относительно того, что цель А превосходит цель Б ровно в 3,0 раза, напротив, его суждение в этой ситуации скорее будет интервально и размыто (в нашем примере его оценка может выглядеть как «примерно в 2–4 раза»). Принудительное сведение когнитивных шкал к фиксированным точкам порождает системные ошибки и отсекает ценную информацию о рыночных рисках. Согласно концепции И. Ансоффа [5], такую информацию необходимо рассматривать как скрытые или «слабые сигналы» (weak signals) внешней среды, своевременный учет которых позволяет упредить возникновение критических барьеров.

Во-вторых, прямое ранжирование уязвимо для нарушения свойства логической транзитивности суждений. Под логической транзитивностью понимается условие непротиворечивости: так, если элемент А предпочтительнее элемента Б (А > Б), а элемент Б предпочтительнее В (Б > В), то элемент А должен быть

строго предпочтительнее элемента B (A > B). При классическом усреднении индивидуальных анкет междисциплинарных экспертных групп свойство транзитивности часто нарушается, образуя замкнутые циклические контуры, «парадокс Кондорсе», впервые описанный в 1785 году и позже обобщённый в теории коллективного выбора К. Эрроу [6]. В условиях экспертного анализа сложных систем такое нарушение транзитивности приводит к скрытой рассогласованности целеполагания и требует применения специальных методов обработки нечеткой информации и контроля согласованности математического аппарата Б.Г. Литвака [7]. Для снятия перечисленных выше ограничений в стратегическом анализе целесообразно использовать методы многокритериального выбора, такие, как метод анализа иерархий (AHP) Т. Саати [8] и его нечеткую модификацию Fuzzy-AHP.

III. Методология и пошаговый алгоритм исследования

В соответствии с принципами системного анализа, генеральная стратегическая цель верхнего уровня (обозначим его как уровень 0): «Организовать эффективное продвижение отечественных промышленных ПАК на рынке КИИ в условиях импортозамещения», может быть декомпозирована на три системные подцели первого уровня с последующим развертыванием локальных подцелей второго уровня следующим образом:



Рис. 1. Структурная архитектура стратегического дерева целей ПАК

Математический аппарат классического AHP Саати базируется на построении матрицы попарных сравнений A = [a_ij]. Вычисление вектора локальных приоритетов (КОВ) осуществляется через расчет нормализованного геометрического среднего строк матрицы попарных сравнений:

$$RG_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^{n} a_{ij}}$$

$$W_i = \frac{RG_i}{\sum_{k=1}^{n} RG_k}$$

Контроль транзитивности и непротиворечивости суждений экспертной группы выполняется с помощью расчета индекса согласованности (IS) и отношения согласованности (OS):

$$IS = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

$$OS = \frac{IS}{SS}$$

где λ_{max} – максимальное собственное значение матрицы, n представляет размерность этой матрицы, SS (табличный индекс случайной согласованности (для n=3, SS=0,58)). Матрица признается согласованной при OS <= 10%.

В рамках нечеткой модификации Fuzzy-AHP расчет весовых векторов треугольных чисел M = (l, m, u) реализуется на основе нечеткой интервальной арифметики с последующей дефаззификацией по методу центра тяжести:

$$W_{\text{четкий}} = \frac{l+m+u}{3}.$$

IV. Практическая реализация и результаты расчетов

ТАБЛИЦА I. Четкая матрица попарных сравнений классического метода AHP Т. Саати

Критерии	G1 (Комплаенс)	G2 (B2B-Продажи)	G3 (Воронка)
G1 (Комплаенс)	1,000	3,000	5,000
G2 (B2B-Продажи)	0,333	1,000	2,000
G3 (Воронка)	0,200	0,500	1,000

В результате нормализации геометрического среднего по строкам рассчитаны классические КОВ целей: G1 = 0,648; G2 = 0,230; G3 = 0,122. Математический аудит подтвердил высокую внутреннюю непротиворечивость: λ_{max} = 3,005; ИС

= 0,0025; отношение согласованности ОС = 0,43% (что значительно меньше критических 10%).

ТАБЛИЦА II. ТРЕУГОЛЬНАЯ НЕЧЕТКАЯ МАТРИЦА СРАВНЕНИЙ FUZZY-AHP

Критерии	**G1 (Комплаенс)**	**G2 (B2B-Продажи)**	**G3 (Воронка)**
G1 (Комплаенс)	(1,00; 1,00; 1,00)	(2,00; 3,00; 4,00)	(4,00; 5,00; 6,00)
G2 (B2B-Продажи)	(0,25; 0,33; 0,50)	(1,00; 1,00; 1,00)	(1,00; 2,00; 3,00)
G3 (Воронка)	(0,17; 0,20; 0,25)	(0,33; 0,50; 1,00)	(1,00; 1,00; 1,00)

Свертка интервалов позволила выявить нечеткие весовые векторы: G1 = (0,394; 0,641; 1,023); G2 = (0,127; 0,237; 0,419); G3 = (0,085; 0,121; 0,209). Процедура дефаззификации и итоговой нормировки определила следующие веса Fuzzy-AHP: G1 = 0,632; G2 = 0,241; G3 = 0,127 [9].

V. Выводы

Сопоставление результатов расчетов классического AHP против нечеткого Fuzzy-AHP подтверждает высокую устойчивость базовой архитектуры стратегического целеполагания: расхождение КОВ по всем узлам находится в минимальном диапазоне (не более 1,6%). Главная научная новизна применения нечеткого метода заключается в обнаружении скрытого риск-фактора: верхняя граница нечеткого интервала цели G1 превышает единицу (1,023). Здесь значение метрики служит явным индикатором того, что в случае реализации пессимистического сценария внешней среды (ужесточение нормативного регулирования ФСТЭК/ФСБ, введение новых санкционных ограничений и т.д.) подцель комплаенса способна полностью связать и поглотить все операционные, финансовые и временные ресурсы предприятия. Таким образом, инструментарий Fuzzy-AHP обеспечивает переход от реактивного планирования к риск-ориентированному предиктивному управлению высокотехнологичным бизнесом.

Список литературы

[1] Федеральный закон «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» от 26.07.2017 № 187-ФЗ (последняя редакция).

[2] Кулик И.В., Кильмаев С.О. Разработка и вывод на рынок инновационного продукта // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2024. № 4. С. 112–119.

[3] Агафонова М.С., Аксенов П.Н. Управление эффективной системой маркетинга инновационных продуктов // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2016. Т. 2. С. 441–445.

[4] Колесников А.В., Кириков И.А. Методология системного анализа в задачах многокритериального выбора: применение гибридных интеллектуаческих систем. М.: ИПИ РАН, 2024. 387 с.

[5] Ансофф И. Стратегический менеджмент. Классическое издание / под ред. А.Н. Петрова. СПб.: Питер, 2009. 344 с.

[6] Эрроу К.Дж. Коллективный выбор и индивидуальные ценности / под ред. Ф.Т. Алескерова. М.: Изд. дом ГУ ВШЭ, 2004. 204 с.

[7] Литвак Б.Г. Экспертная информация: Методы получения и анализа. М.: Радио и связь, 1982. 184 с.

[8] Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 316 с.

[9] Баранов Л.А., Иванова Н.Д., Михалевич И.Ф. Нечеткая система оценки рисков информационной безопасности сложных организационно-технических комплексов // Автоматика на транспорте. 2024. Т. 10, № 1. С. 7–17.