

ИНТЕЛЛЕКТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕЗА СТРАТЕГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ СОЗДАНИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

УДК 004.89

А.В. Гулай, В.М. Зайцев,
БНТУ, г. Минск

Аннотация

Процессы проектирования и эксплуатации системотехнических комплексов предполагают выработку и принятие стратегических решений. Синтез таких решений при создании сложных систем диктует необходимость применения интеллектуальных компонентов для информационно-технической поддержки процессов управленческой деятельности. С учетом этого, рассмотрены возможные подходы к оценке предпочтительности и выбору стратегических решений при использовании эвристико-алгоритмических методов для их предварительной подготовки. Указанные подходы основываются на двухуровневой схеме анализа возможных вариантов и применении аддитивной функции ценности решений.

Введение

Как на этапе проектирования системотехнических комплексов, так и на этапе их эксплуатации возникает объективная необходимость выработки и принятия определенных системных решений. По ресурсам времени, которыми располагает орган выработки и принятия решений, по продолжительности и масштабам практического применения получаемых результатов, а также по возможным рискам различают стратегические и оперативные решения [1]. Высокая ответственность стратегических решений, их практическая необратимость, значительный уровень возможных рисков и существенная неопределенность в оценке текущей внешней и внутренней системной обстановки требуют применения интеллектуальных компонентов для информационно-технической поддержки процессов управленческой деятельности органа выработки и принятия решений.

Проектные стратегические решения связаны, в основном, с выбором возможных и допустимых вариантов структурно-функционального построения создаваемых системотехнических комплексов. Они направлены на обеспечение выполнения заданных функциональных и технико-экономических требований и в процессе проектирования превалируют над оперативными решениями. Эксплуатация системотехнических комплексов предполагает периодически повторяемую выработку и принятие решений на определенных фазах циклов управления, и в зависимости от целевого назначения и выделенных ресурсов данные решения могут быть как стратегическими, так и оперативными. Они определяют ситуационные поведенческие аспекты и эффективность применения создаваемых системотехнических комплексов.

Иерархия уровней принятия стратегических решений при создании сложных систем

На современном этапе развития и использования интеллектуальных компонентов в технологии создания сложных систем применяется, как правило, пятиуровневая парадиг-

ма построения процессов выработки, анализа и принятия стратегических решений (рисунок 1). Она объединяет совокупность определенных фундаментальных научных и технических установок, положений, представлений и терминов, разделяемых большинством специалистов системотехнического профиля [1, 2].

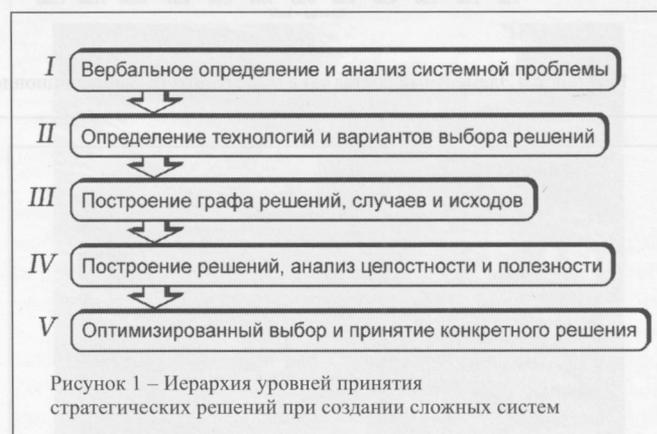


Рисунок 1 – Иерархия уровней принятия стратегических решений при создании сложных систем

Первым в иерархии указанных процессов является уровень вербального определения и анализа системной проблемы, на решение которой ориентирован создаваемый системотехнический комплекс. Он предполагает формирование целевых системных задач и альтернативных планов возможных стратегических решений по созданию или применению системотехнического комплекса. Концептуальный анализ составляет основу второго уровня иерархии, для которого характерна качественная структуризация проблемы – определение объектов и первоочередных вариантов выбора решений, вариантов отложенного выбора решений (решений второй очереди), спецификация сведений и технологий для реализации выбора, спецификация объективно необходимых основных и возможных вспомогательных экспериментов.

На третьем уровне выполняется построение графа решений с тремя типами вершин: с вершинами – решениями, которые находятся под полным контролем органа выработки и принятия решения, с вершинами – случаями, которые находятся под частичным контролем данного органа или вообще являются бесконтрольными (и, следовательно, представляют собой потенциальные источники угроз), и с концевыми вершинами – исходами системных решений. На этом уровне оцениваются требуемые вероятностные параметры процессов, и, при необходимости, выполняется моделирование. Построение возможных решений, анализ их ценности или полезности выполняется на четвертом уровне, наиболее ответственном по возможным последствиям. Данный уровень предполагает проведение необходимых расчетов и построение решений, получение экспертных оценок и субъективных экспертных суждений, а также вы-

работку, установление или назначение численных значений полезности последствий тех или иных решений. Иерархия анализируемых процессов замыкается пятым уровнем оптимизированного выбора и принятия конкретного решения.

Для реализации указанных уровней иерархии управленческих процессов орган выработки и принятия решений должен располагать достаточными ресурсами времени и материальным обеспечением, что практически исключает полноценное применение рассматриваемой парадигмы для выработки оперативных решений. Независимо от того, находится ли системотехнический комплекс на этапе проектирования или на этапе эксплуатации, общепризнана и практикой подтверждена целесообразность применения прескриптивного подхода, согласно которому на интеллектуальные компоненты возлагается лишь выработка вариантов и рекомендаций для принятия стратегических решений. При этом непосредственное принятие стратегических решений на этапе проектирования указанных комплексов закрепляется за ответственным системотехником, а при их эксплуатации – за определенным должностным лицом [1, 2].

Реализация тех или иных системных операций в процессах выработки и принятия решений и качество самих решений зависит от степени структуризации системной проблемы. В системных операциях большое значение имеют комбинированные системные технологии, которые ориентированы на построение процессов выработки и принятия решений в условиях частичной (средней) структуризации проблемы, выделения концептуальных объектов, связей и отношений между ними. Для построения стратегических решений в этом случае наиболее перспективно применение эвристико-алгоритмических методов и приемов [2, 3].

Первый и второй уровни иерархии парадигмы управления являются традиционными, имеют отработанную методологическую основу выполнения системных операций и в большинстве случаев у высокопрофессиональных специалистов затруднений не вызывают. Однако для сложных системотехнических комплексов, как на этапе их проектирования, так и на этапе эксплуатации, из-за наличия НЕ-факторов (неточность, неопределенность, нечеткость) существует опасность неполной структуризации, что создает трудности и неопределенности в реализации последующих иерархических уровней принятой парадигмы [1, 3].

При синтезе графа возможных решений каждой конечной (конечной) вершине требуется поставить в соответствие определенное ожидаемое системное последствие (исход). При этом на принимаемое стратегическое решение возлагается ответственность за всю совокупность частных решений и результатов движения по тому или иному пути графа от корневой вершины к рассматриваемой конечной вершине (то есть к конечному состоянию). Предварительно для системотехнического комплекса необходимо выработать системно значимый набор частных технических показателей качества (факторов) $K_1, K_2, K_3, \dots, K_r$. Для всех возможных последствий орган выработки и принятия решения должен располагать экспертными суждениями о степени их предпочтительности (относительной ценности).

Возможные количественные и качественные значения $k_1, k_2, k_3, \dots, k_r$ указанных факторов определяют различные состояния S_q комплекса и образуют базу расчетно-экспертных оценок для выработки и принятия рациональных технических решений [2, 3]. Если V_i – количество

возможных значений k_i (градаций) частного показателя качества K_i , то пространство всех возможных состояний $\{S_q\}; q = 1, 2, \dots, Q$ системотехнического комплекса определяется декартовым произведением:

$$Q = V_1 \times V_2 \times V_3 \times \dots \times V_r. \quad (1)$$

С целью установления или назначения численных значений полезности последствий (исходов) тех или иных решений необходимо предварительное разбиение пространства конечных состояний для этапа проектирования системотехнического комплекса ($Q = Q_{\text{проект}}$) или для этапа его эксплуатации ($Q = Q_{\text{экспл}}$) на классы. В пределах каждого выделенного класса конечные состояния, отобранные на основе суждений экспертов, должны быть равнозначными внутри соответствующих пространств по показателю относительной функционально-технической предпочтительности HS_j . Полная классификация предполагает экспертное отнесение каждого возможного конечного состояния системотехнического комплекса к одному из классов, а в сложных ситуациях – одновременно к нескольким классам. Общее число выделенных классов R определяет количество возможных типов решений, равноценных по ожидаемым функционально-техническим последствиям:

$$R = \{R_1, R_2, R_3, \dots, R_n\}. \quad (2)$$

Таким образом, каждый из классов $R_j; j = 1, 2, \dots, n < Q$ может интерпретироваться как нечеткое множество, которое включает выделенные экспертами и отнесенные к определенному классу конечные состояния S_q с некоторыми наборами значений частных показателей качества

$$\{k_1(j, q), k_2(j, q), k_3(j, q), \dots, k_r(j, q)\}, \quad q = 1, 2, \dots, W_j \quad (3)$$

в пространстве состояний $Q_{\text{проект}}$ или $Q_{\text{экспл}}$, сопровождаемые нормированными значениями функций принадлежности L_{jq} [4]. При этом

$$0 \leq L_{jq} \leq 1 \quad \text{для } j = 1, 2, \dots, n; \quad q = 1, 2, \dots, W_j, \quad (4)$$

$$W_1 + W_2 + \dots + W_j + \dots + W_n = Q \quad (Q = Q_{\text{проект}} \text{ или } Q = Q_{\text{экспл}}). \quad (5)$$

Анализ возможных вариантов и аддитивная функция ценности стратегических решений

Методики и приемы вербального определения и анализа системной проблемы и системных задач разработаны и апробированы применительно к объектам медицинского профиля [4], предложена также технология построения базы знаний группой медицинских экспертов [5, 6]. Сложность и многофакторность медицинских проблем, структура системных причинно-следственных связей и задач в гносеологическом и методологическом отношениях имеют значительные сходства с проблемами, присущими системам технического назначения. Анализ показал, что указанные выше методики, информационные технологии и приемы могут быть успешно распространены на процессы классификации пространств состояний $Q_{\text{проект}}$ или $Q_{\text{экспл}}$ сложных системотехнических комплексов, а также на построение базы расчетно-экспертных оценок.

Непосредственное установление численных значений полезности различных стратегических решений может быть выполнено с использованием принципа экспертного попарного сопоставления классов конечных состояний и соответствующих им стратегических решений. Традиционно в такой постановке задачи применяются наборы значений частных показателей качества $\{k_1(j, q), k_2(j, q), k_3(j, q), \dots, k_r(j, q)\}; q = 1, 2, \dots, W_j$, которые выступают в роли аргументов некоторой функции ценности F . На практике в зависимости от функциональных и эксплуатационных особенностей создаваемого системотехнического комплекса в большинстве случаев наблюдается сочетание объективно измеряемых (фактографических), строго рассчитываемых (виртуальных) показателей и показателей иного рода, которые расширяют их состав путем введения в схему системного анализа ряда дополнительных субъективно оцениваемых (или трудно и крайне приближенно оцениваемых) факторов. Они могут отражать различные системные аспекты: предполагаемое ресурсное обеспечение решений, возможные риски, а также явления нетехнической природы и содержания. Это резко увеличивает размерность задачи, создает определенные трудности в оценке значений функций принадлежности и взаимной независимости факторов по предпочтениям, при этом решаемая проблема превращается в слабо обозримую даже для высококвалифицированных экспертов [1].

Применительно к реальным системотехническим комплексам объективный интерес для выработки стратегических решений представляет использование баз знаний в формате нечеткой модели [7]. Эта модель предполагает предварительное разбиение влияющих факторов на классы с размытыми границами, при этом решения строятся с помощью нечетких логических выводов по набору правил-импликаций вида ЕСЛИ–ТО. Перспективность и функциональные возможности этого подхода исследованы в работе [8], где представлена реализация и апробирование соответствующих моделей в среде MATLAB. Однако, при этом выявлена серьезная проблема, связанная с необходимостью минимизации отклонений результатов синтезируемых нечетких логических выводов и экспериментальных данных. В ряде случаев изменение и подбор весов правил-импликаций и других параметров нечеткой базы знаний при ее экспериментальной «калибровке» могут существенно деформировать результаты построения решений, вплоть до искажения их допустимой содержательной интерпретации. Решение данной проблемы требует проведения дополнительных теоретических и экспериментальных исследований, а также оценки реальной вычислительной сложности и ресурсоемкости алгоритмов построения нечетких логических выводов на нечеткой базе знаний.

Для практического применения технологии классификации возможных стратегических решений в реальных системотехнических комплексах актуально построение «компромиссных» приемов и алгоритмов. Рациональным направлением в данном случае является введение определенных ограничений в традиционный состав группы параметров, которые обеспечивают требуемое сопоставление классов и выступают в качестве аргументов функции ценности F , а также переход на двухуровневую схему системного анализа решений (рисунок 2).

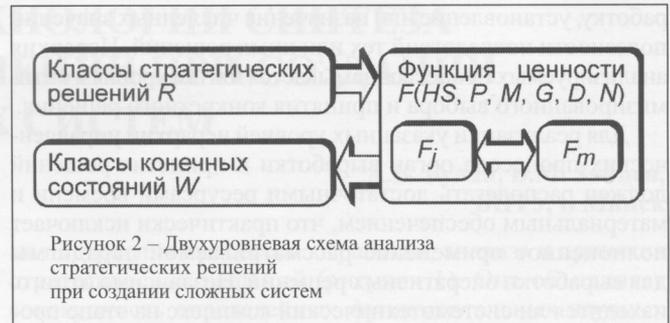


Рисунок 2 – Двухуровневая схема анализа стратегических решений при создании сложных систем

Естественным параметром группы аргументов функции ценности F_j класса решений R_j обязательно должен являться показатель его относительной функционально-технической предпочтительности HS_j . Если состав показателей качества $\{k_1(j, q), k_2(j, q), k_3(j, q), \dots, k_r(j, q)\}; q = 1, 2, \dots, W_j$ ограничить фактографическими и виртуальными показателями и не включать в их состав специфические факторы и факторы нетехнической природы, то численные значения HS_j могут быть назначены на основе рядов доминирования решений [1]. Указанная процедура определяет первый уровень системного анализа и классификации стратегических решений при создании сложных систем. Однако отказ от прямого применения частных показателей качества в составе аргументов функции ценности F сопровождается частичной потерей информативности. Для компенсации потерь целесообразно обеспечить косвенный учет индивидуальных структурных свойств нечетких множеств R_j . С этой целью в состав группы аргументов функции F предлагается ввести относительную мощность P_j класса решений R_j , которая определяется следующим образом:

$$P_j = W_j / (W_1 + W_2 + \dots + W_j + \dots + W_n). \quad (6)$$

При расположении классов в порядке возрастания предпочтительности функция F по указанным аргументам (HS_j, P_j) должна быть возрастающей, что может быть обеспечено за счет введения в состав данной функции компонентов вида $A_{\text{фп}} \times HS_j$ и $A_m \times P_j$ (как показано Кини Р. и Райфа Х. при построении основных видов функций ценности [1]). Здесь и далее, A – коэффициенты. Кроме того, необходимо учитывать фактический уровень консолидации нечеткого класса решений, который определяется средним квадратическим отклонением M_j функций принадлежности L_j от центра класса R_j (R_j соответствует среднему значению L_{cpj} функций принадлежности к классу) [8]:

$$M_j = \{[(L_{cpj} - L_{j1})^2 + (L_{cpj} - L_{j2})^2 + \dots + (L_{cpj} - L_{jWj})^2] / W_j\}^{1/2}, \quad (7)$$

$$L_{cpj} = (L_{j1} + L_{j2} + \dots + L_{jWj}) / W_j.$$

При указанных условиях (расположение классов в порядке возрастания предпочтительности) функция F по аргументу M_j должна быть убывающей, что обеспечивается введением в ее состав компонента вида $\text{EXP}(-A_{\text{конс}} \times M_j)$ [1].

Для учета затрат ресурсов в группу аргументов функции F целесообразно ввести фактор ресурсного обеспечения G_j процессов реализации класса решений R_j . В данном случае невозрастание функции F по фактору G_j ресурсного

обеспечения достигается за счет введения в состав данной функции компонента вида $\text{EXP}(-A_{\text{рес}} \times G_j)$ [1].

С целью учета факторов нетехнической природы, которые благоприятствуют в достижении требуемых целей (D -факторов) при создании системотехнического комплекса, и факторов нетехнической природы, которые противодействуют в достижении целей (N -факторов), необходима их предварительная спецификация, порядковое шкалирование с образованием наборов числовых параметров $\{D_{\text{фнтп}}\}$, $\{N_{\text{фнтп}}\}$ и введение их в состав группы аргументов функции F . Обязательным требованием в данном случае является возрастание функции F по факторам $\{D_{\text{фнтп}}\}$ и убывание этой функции по факторам $\{N_{\text{фнтп}}\}$.

Предлагаемый подход позволяет существенно ослабить требования взаимной независимости различных факторов по предпочтению, а также позволяет выполнять попарное сопоставление классов с использованием функции полезности аддитивного вида:

$$F_j = A_{\text{фнтп}} \times HS_j + A_m \times P_j + A_1 \times \text{EXP}(-A_{\text{конс}} \times M_j) + A_2 \times \text{EXP}(-A_{\text{рес}} \times G_j) + \{A_{3\text{фнтп}} \times D_{\text{фнтп}}\} + \{A_{4\text{фнтп}} \times \text{EXP}(-B_{\text{фнтп}} \times N_{\text{фнтп}})\}. \quad (8)$$

Коэффициенты $A_{\text{фнтп}}$, A_m , A_1 , $A_{\text{конс}}$, A_2 , $A_{\text{рес}}$, $A_{3\text{фнтп}}$, $A_{4\text{фнтп}}$, $B_{\text{фнтп}}$ устанавливаются системоаналитиком по результатам моделирования и уточняются в процессе согласования расчетных и экспертных результатов и «калибровочных» сравнений. Изменение и подбор этих параметров в смысловом отношении не деформирует результаты построения решений.

Попарное сопоставление классов определяет второй уровень системного анализа. В результате попарного сопоставления могут быть построены достаточно простые матрицы предпочтительности сформированных классов решений:

$$E_{\text{проект}} = [p_{jm}], \quad j, m = 1, 2, \dots, n_{\text{проект}} \quad \text{для этапа проектирования}; \quad (9)$$

$$E_{\text{экспл}} = [e_{jm}], \quad j, m = 1, 2, \dots, n_{\text{экспл}} \quad \text{для этапа эксплуатации}, \quad (10)$$

где $p_{j,m}$, $e_{j,m} = F_m - F_j$, если класс решений j менее предпочтителен, чем класс m ;

0, если класс решений j равноценен классу m ;

-1, если класс решений j более предпочтителен, чем класс m .

Здесь F_j , F_m – уровни ценности классов решений j , m , соответственно. Значения $p_{j,j}$, $e_{j,j}$ задают уровень ценности класса решений R_j .

Заключение

На основных этапах проектирования и эксплуатации системотехнических комплексов возникает объективная необходимость выработки и принятия определенных стратегических решений. Для информационно-технической поддержки процессов управленческой деятельности органа выработки и принятия решений требуется применение интеллектуальных компонентов. С целью установления численных значений полезности последствий тех или иных решений выполняется предварительное разбиение про-

странства конечных состояний системы на классы. Каждый из классов интерпретируется как нечеткое множество, которое включает выделенные экспертами и отнесенные к определенному классу конечные состояния с некоторым набором значений частных показателей качества.

Первый уровень системного анализа представляет собой введение показателя относительной функционально-технической предпочтительности в качестве аргумента функции ценности, характеризующей класс решений. Другими параметрами аргумента данной функции являются: относительная мощность класса решений, среднее квадратическое отклонение функций принадлежности к классу от его центра, фактор ресурсного обеспечения процессов реализации класса решений, факторы нетехнической природы, которые благоприятствуют или противодействуют в достижении требуемых целей. Попарное сопоставление классов определяет второй уровень системного анализа. В результате попарного сопоставления могут быть построены достаточно простые матрицы предпочтительности сформированных классов стратегических решений.

Литература:

1. Кини, Р.Л. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / Р.Л. Кини, Х. Райфа. – М. : Радио и связь, 1981.
2. Гулай, А.В. Экспертная логико-вероятностная модель интеллектуальной системы управления / А.В. Гулай, В.М. Зайцев // Наука и техника. – 2014. – № 1.
3. Рыбина, Г.В. Основы построения интеллектуальных систем / Г.В. Рыбина. – М. : Финансы и статистика, 2010.
4. Ларичев, О.И. Качественные методы принятия решений / О.И. Ларичев, Е.М. Мошкович. – М. : Наука, 1996.
5. Асанов, А.А. Опыт построения большой базы экспертных знаний / А.А. Асанов, О.К. Подлипский // Методы поддержки принятия решений. Сборник трудов Института системного анализа РАН. – М. : УРСС, 2001.
6. Подлипский, О.К. Построение баз знаний группой экспертов / О.К. Подлипский // Компьютерные исследования и моделирование. – 2010. – Т 2. – № 1.
7. Mamdani, E.H. An Experiment in Linguistic Synthesis with Fuzzy Logic Controller / E.H. Mamdani, S. Assilian // Int. J. Man. – Machine Studies. – 1975. – Vol. 7. – № 1.
8. Штовба, С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и в нечеткую логику. Проектирование систем управления / С.Д. Штовба // Источник: matlab exponenta.ru/fuzzylogic/book1/1.php.

Abstract

Design and operation processes for systems engineering complexes presuppose development and adoption of strategic decisions. Synthesis of these decisions during establishment of complex systems dictates necessity of using the intellectual components for informational and technical support of managerial activity processes. By taking the aforesaid provisions into account possible approaches have been considered for assessment of preference and selection of strategic solutions when heuristic and algorithmic methods are used for their preliminary preparation. These approaches are based on the bimodal scheme for analysis of possible options and application of the additive function of solutions value.

Поступила в редакцию 25.02.2014 г.