

СИСТЕМЫ, СЕТИ И УСТРОЙСТВА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

УДК 004.89

А.В. Гулай, В.М. Зайцев

ЭВРИСТИКО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ИНТЕЛЛЕКТНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Рассмотрены возможные подходы к оценке предпочтительности и выбору стратегических решений при использовании эвристико-алгоритмических методов в проектировании системотехнических комплексов на основе интеллектуальных технологий.

Ключевые слова: интеллектуальные технологии проектирования, эвристико-алгоритмические методы, принятие стратегических решений.

В процессе проектирования системотехнических комплексов возникает потребность в принятии определенных стратегических решений. Ряд факторов диктует необходимость использования интеллектуальных компонентов для информационной поддержки управленческой деятельности органа выработки решений. К таким факторам относятся: высокая ответственность стратегических решений; значительный уровень возможных рисков; существенная неопределенность в оценке системной обстановки; практическая необратимость указанных решений. Проектные стратегические решения связаны с выбором возможных вариантов структурно-функционального построения создаваемых системотехнических комплексов.

На современном этапе развития и использования интеллектуальных компонентов в технологии создания сложных систем применяется, как правило, пятиуровневая парадигма построения процессов выработки, анализа и принятия стратегических решений (рис. 1). Она объединяет совокупность определенных фундаментальных научных и технических установок, положений и представлений, поддерживаемых специалистами системотехнического профиля [1, 2].

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 системотехнического комплекса. Концептуальный анализ составляет основу второго уровня иерархии, для которого характерна качественная структуризация проблемы – определение объектов и первостепенных 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.

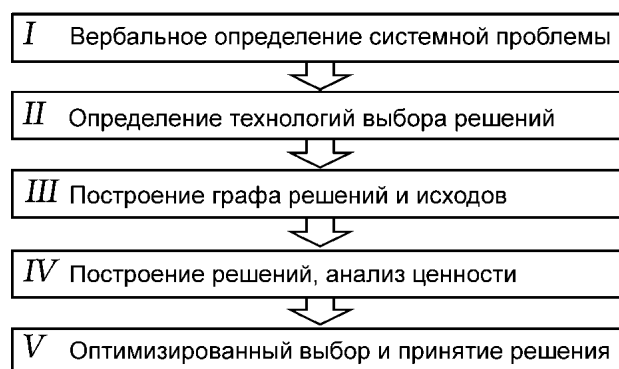


Рис. 1. Уровни принятия стратегических решений в технологии проектирования системотехнических комплексов

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

Реализация системных операций в процессах выработки и принятия решений и качество этих 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 структуризации проблемы, выделения концептуальных объектов и отношений между ними. Для построения стратегических решений наиболее перспективно применение эвристико-алгоритмических методов [2, 3].

Первый и второй уровни иерархии парадигмы управления являются традиционными, имеют отработанную методологическую основу выполнения системных операций и в большинстве случаев у 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 в реализации последующих иерархических уровней принятой парадигмы [1, 3].

При синтезе графа возможных решений каждой 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) $K_1, K_2, K_3, \dots, K_n$. Для всех возможных последствий орган вы-

работки 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 различимые 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 на классы. В пределах каждого выделенного класса конечные состояния должны быть равнозначными внутри соответствующих пространств по показателю относительной функционально-технической предпочтительности HS_j . 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 некоторым набором значений частных показателей качества

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

в пространстве состояний Q , сопровождаемые нормированными значениями функций принадлежности L_{jq} [4]. При этом

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

$$W_1 + W_2 + \dots + W_j + \dots + W_n = Q. \quad (5)$$

В настоящее время разработаны и апробированы методики и приемы вербального определения и анализа системной проблемы и системных задач [4], а также предложена технология построения базы знаний группой экспертов [5]. 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 большинстве случаев наблюдается сочетание объективно измеряемых, строго рассчитываемых показателей и показателей иного рода, которые расширяют их состав путем введения в схему системного анализа ряда дополнительных субъективно оцениваемых факторов. Они могут отражать различные системные аспекты: предполагаемое ресурсное обеспечение решений, возможные риски, а также явления нетехнической природы.

Для практического применения технологии классификации возможных стратегических решений в реальных системотехнических комплексах рациональным направлением 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 (рис. 2).

Естественным параметром группы аргументов функции ценности F_j класса решений R_j обязательно должен быть показатель его относительной функционально–технической предпочтительности HS_j . Если объем данных $\{k_1(j, q), k_2(j, q), k_3(j, q), \dots, k_r(j, q)\}; q = 1, 2, \dots, W_j$ 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].

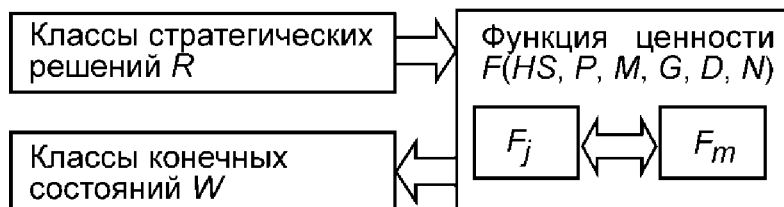


Рис. 2. Схема анализа стратегических решений в технологии проектирования системотехнических комплексов

Указанная процедура определяет первый уровень системного анализа и классификации стратегических решений при проектировании системотехнических комплексов. Однако отказ от прямого применения частных показателей качества в составе аргументов функции ценности F сопровождается частичной потерей информативности. Для компенсации потерь путем косвенного учета индивидуальных структурных свойств нечетких множеств R_j , предлагается в состав группы аргументов функции F ввести относительную мощность P_j класса решений R_j :

$$P_j = W_j / (W_1 + W_2 + \dots + W_j + \dots + W_n). \tag{6}$$

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 $A_{\text{фнтп}} HS_j$ и $A_m P_j$ [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 $L_{\text{ср}j}$ функций принадлежности) [6]:

$$M_j = \{[(L_{\text{ср}j} - L_{j1})^2 + (L_{\text{ср}j} - L_{j2})^2 + \dots + (L_{\text{ср}j} - L_{jW_j})^2] / W_j\}^{1/2}, \tag{7}$$

$$L_{\text{ср}j} = (L_{j1} + L_{j2} + \dots + L_{jW_j}) / W_j. \tag{8}$$

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 $\exp(-A_{\text{конс}} M_j)$ [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 $\exp(-A_{\text{рес}} G_j)$ [1].

С целью учета факторов нетехнической природы, которые благоприятствуют или противодействуют достижению требуемых целей (соответственно, D -факторов или 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:

$$F_j = A_{\text{фнп}} H S_j + A_M P_j + A_{1 \text{exp}} (-A_{\text{конс}} M_j) + A_{2 \text{exp}} (-A_{\text{рес}} G_j) + \{A_{3 \text{фнп}} D_{\text{фнп}}\} + \{A_{4 \text{фнпexp}} (-B_{\text{фнп}} N_{\text{фнп}})\}. \quad (9)$$

Коэффициенты $A_{\text{фнп}}$, A_M , A_1 , $A_{\text{конс}}$, A_2 , $A_{\text{рес}}$, $A_{3 \text{фнп}}$, $A_{4 \text{фнпexp}}$, $B_{\text{фнп}}$ устанавливаются системоаналитиком по результатам моделирования и уточняются при согласовании расчетных и экспертных результатов и “калибровочных” сравнений.

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

$$E = [p_{j,m}]_{j,j}, \quad m = 1, 2, \dots, n, \quad (10)$$

где $p_{j,m} = F_m - F_j$, 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.

Библиографический список

1. Кини Р.Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М.: Радио и связь, 1981.
2. Гулай А.В., Зайцев В.М. Экспертная логико-вероятностная модель интеллектуальной системы управления // Наука и техника. 2014. № 1.
3. Рыбина Г.В. Основы построения интеллектуальных систем. М.: Финансы и статистика, 2010.
4. Ларичев О.И., Мошкович Е.М. Качественные методы принятия решений. М.: Наука, 1996.
5. Подлипский О.К. Построение баз знаний группой экспертов // Компьютерные исследования и моделирование. Т. 2. 2010. № 1.
6. Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и в нечеткую логику. Проектирование систем управления // matlab exponenta.ru/fuzzylogic/book1/1.php.

Статья поступила в редакцию 21.02.2014.

ГУЛАЙ Анатолий Владимирович – кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой «Интеллектуальные системы», Белорусский национальный технический университет (Беларусь).

ЗАЙЦЕВ Владимир Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Интеллектуальные системы», Белорусский национальный технический университет (Беларусь).

UDC 004.89

A.V. Gulay, V.M. Zaytsev

HEURISTIC AND ALGORITHMIC METHODS IN INTELLIGENT TECHNOLOGIES OF SYSTEMS ENGINEERING COMPLEX DESIGN

The article analyzes possible approaches to estimating the preference and selecting strategic decisions when using heuristic and algorithmic methods in designing systems engineering complexes based on intelligent technologies.

Keywords: intelligent design technologies, heuristic and algorithmic methods, making strategic decisions.