

ЭКСПЕРТНАЯ ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Канд. техн. наук, доц., лауреат Государственной премии ГУЛАЙ А. В.,
канд. техн. наук, доц. ЗАЙЦЕВ В. М.

Белорусский национальный технический университет

E-mail: altaj@tut.by

EXPERT LOGICAL AND PROBABILISTIC MODEL OF INTELLECTUAL CONTROL SYSTEM

GULAY A. V., ZAYTSEV V. M.

Belarusian National Technical University

Выполнен анализ теоретических и практических аспектов применения эвристико-алгоритмических методов оценки текущих состояний объектов управления. Приведена технология построения блоков информации о возможных состояниях объекта управления, а также о его функциональных и параметрических свойствах в каждом из состояний. Показана возможность создания на основе указанного набора данных логического комплекса «состояния – свойства» объекта управления. Проанализированы априорная и апостериорная вероятности реализации состояний интеллектуальной системы управления. Представленная экспертная логико-вероятностная модель является основой выработки и принятия управленческих решений на более высоких уровнях системной иерархии.

Ключевые слова: интеллектуальные системы управления, технологии выработки и принятия решений, методы оценки.

Ил. 1. Табл. 2. Библиогр.: 13 назв.

The paper contains an analysis of theoretical and practical aspects pertaining to application of heuristic and algorithmic methods for evaluation of current states of controlled objects. Technology for construction of an information block on possible states of controlled objects and its functional and parametric properties in every state has been given in the paper. The paper shows the possibility to create a logic complex “states – properties” of the controlled object on the basis of the indicated data set. A priori and posterior probabilities for realization of the states of an intellectual control system have been analyzed in the paper. The presented expert logical and probabilistic model is considered as a basis for control decision elaboration and decision-making at higher level of system hierarchy.

Keywords: intellectual control system, technologies for design elaboration and decision making, evaluation methods.

Fig. 1. Tab. 2. Ref.: 13 titles.

Современный этап создания систем управления технического назначения характеризуется высокими темпами насыщения их средствами компьютерной техники, преимущественным переходом на цифровые методы обработки всех видов сигналов, а также расширением областей практического внедрения интеллектуальных технологий в процессы выработки и принятия решений [1]. Эти направления предполагают применение особых методов и инструментариев, обеспечивающих разработку специализированных интеллектуальных систем, которые ориентированы на решение фиксированного набора задач в соответствии с исходными требованиями и заданиями на проектирование [2]. Конкретные виды интеллектуальных технологий, составы баз знаний и баз данных зависят от проблемных областей и набора функций, реализуемых интеллектуальной системой управления [3].

Интеллектуальные системы управления: технологии выработки и принятия решений.

В интеллектуальных системах технического назначения выработка и принятие управленческих решений, как правило, выполняются циклически по общей схеме в виде цепи типовых причинно-следственных системных операций (рис. 1) [1, 4]. В каждом цикле управленческое решение обеспечивает перевод объекта из текущего состояния, оцениваемого в сложившихся конкретных условиях как достаточно правдоподобное, в состояния, которые по логике функционирования системы или по оценкам экспертов считаются более рациональными и предпочтительными [4, 5]. Решения по оценке состояния объекта в цепи причинно-следственных системных операций являются первичными, а управленческие относятся к более высоким уровням в иерархии системных решений.

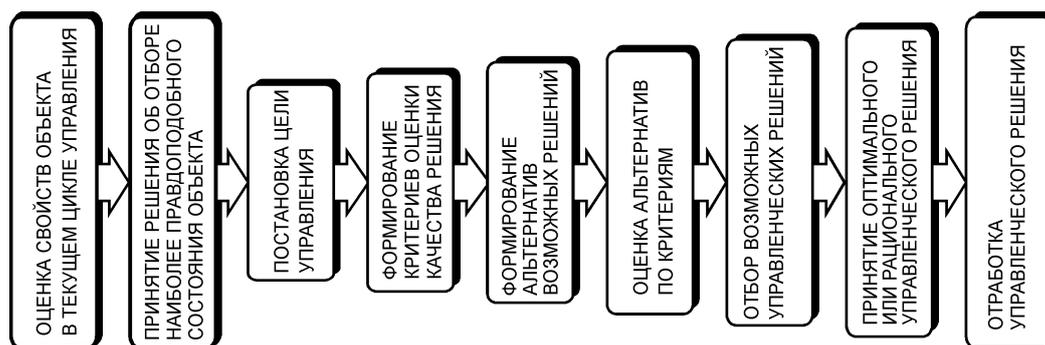


Рис. 1. Общая схема выработки управленческих решений в интеллектуальной системе

Сложность эффективной реализации циклов управления обусловлена, прежде всего, тем, что в них используется экспертная информация с различными видами НЕ-факторов (неточность, неопределенность, неполнота, нечеткость), применяются методы поиска и комбинаторики, корректируется информация в базах или вводится дополнительная информация в процессе наладки и эксплуатации системы, а также обеспечивается получение решений в условиях ограничения ресурса отведенного времени [1, 2]. Кроме того, практическая реализация системных операций в схемах выработки и принятия решений в значительной степени зависит от уровня структуризации проблемной области. Для выработки и принятия системных решений в настоящее время применяются методы и приемы следующих основных видов интеллектуальных технологий: нормативно-теоретической, дескриптивной и комбинированной [6].

Нормативно-теоретические технологии обеспечивают создание наиболее благоприятных условий для дедуктивного построения процессов выработки и принятия решений как по отбору текущих состояний объектов, так и управленческих решений применительно к хорошо структурированной проблемной области. Они позволяют получать вполне конкретные результаты и формировать надежную платформу принятия решений на основе информации о структурах объекта управления и системы, их функциях, параметрах, внутренних и внешних связях. При этом используются предварительно выбранные и обоснованные теоретические положения и аналитические модели. С помощью технологий рассматриваемого вида реализуются жесткие решения с «выводами по правилам» для всех составляющих приведенной выше

схемы. Следствием использования нормативно-теоретической технологии является подготовка и принятие оптимальных или субоптимальных решений [2, 5].

Дескриптивные (описательные или мандатные) технологии ориентированы на построение процессов выработки и принятия управленческих решений при наличии слабоструктурированной проблемной области, отсутствии структурированного описания объекта управления и системы, когда известны лишь общие вербальные определения реализуемых функций, и, в лучшем случае, выявлен состав параметров объекта. Имеет место или полное отсутствие информации о связях между параметрами, или отсутствие подавляющей части такой информации, что позволяет говорить в данном случае о технологиях оценочного типа с мягкими или нечеткими решениями [2]. Построение процессов выработки и принятия решений применительно к слабоструктурированным объектам и системам не обеспечивает получения обоснованных оптимальных или субоптимальных результатов, а создание с этой целью каких-либо регулярных процедурных основ на текущий момент представляется в общем случае неразрешимой теоретико-познавательной задачей. Тем не менее для практического формирования возможных решений перспективным (а в ряде случаев единственно возможным) направлением считается использование эвристических методов и приемов [2, 7, 8]. Однако при этом в схеме выработки и принятия решений выявляется ряд проблем, связанных с реализацией и оценкой качества выполнения большинства системных операций, а принимаемые решения в данном случае могут быть отнесены всего лишь к категории рациональных.

Комбинированные системные технологии используются при построении процессов выработки и принятия управленческих решений в условиях частичной (средней) структуризации основных составляющих описаний объектов управления и систем. Принятие данного метода, занимающего промежуточное положение в ряду технологий выработки и принятия решений, обусловлено следующими обстоятельствами. Развитие систем технического назначения, практическое получение новых системных свойств и повышение их качества подчиняются общим закономерностям диалектики и, как правило, лежат на путях морфологического синтеза и синектики [9, 10]. Его основу составляют матричные приемы построения ранее не применявшихся функционально-конструктивных комбинаций известных системных и объектных компонентов, а также попытки организации нетрадиционного взаимодействия разнородных составных частей систем [1, 10]. В связи с этим создание новых перспективных систем технического назначения в большинстве случаев оказывается сопряженным с использованием среднеструктурированных проблемных областей. В указанных условиях резко возрастает потребность в активном переходе в процессах управления на эвристические и эвристические (эвристико-алгоритмические) методы. Это касается, прежде всего, адекватной оценки состояний объектов в текущих циклах управления, качество которых в значительной степени предопределяет эффективность вырабатываемых управленческих решений на более высоких уровнях иерархии.

Под эвристикой понимается совокупность логических приемов и методических правил нахождения требуемых или допустимых решений, которые направлены на существенное ограничение количества переборов различных вариантов [11]. В качестве эвристик могут выступать различные схемы логических выводов, неформальные правила построения рациональных решений при отсутствии четких алгоритмов и точных теоретических обоснований, индуктивные методы решения управленческих задач, всевозможные ограничения и качественные критерии практической пригодности решений. Эвристики, как правило, отражают профессиональные знания и практический опыт специалистов и экспертов в конкретной про-

блемной области или в группе смежных областей.

Особую роль в процессах выработки и принятия управленческих решений применительно к той или иной проблемной области играют индуктивные приемы, которые позволяют на основе исходных системных посылок получать результаты в виде гипотез, рекомендаций или новых положений. Сами предпосылки, в свою очередь, могут быть выведены из этих гипотез, рекомендаций и положений. Особенностью внедрения эвристик является не прямое моделирование творческих (мыслительных) процессов при выработке и принятии решений, а синтез и искусственное воспроизведение последовательностей переработки информации, имеющих аналогичную структуру и дающих аналогичные или достаточно близкие результаты. Выработка решений с улучшенным качеством может быть достигнута за счет оперативного использования результатов контрольных экспериментов, если их реализация допустима непосредственно в ходе функционирования системы и способна дать ответы на определенные уточняющие запросы.

Экспертная оценка комплекса состояний и свойств объекта управления. Для практического применения эвристических методов процесс принятия любых системных решений относительно объекта управления в общем случае должен быть связан с получением следующих блоков информации, которые отражают исходные предпосылки и параметры. К ним относятся блоки: возможных (гипотетических) состояний объекта управления; функциональных и параметрических свойств объекта управления в каждом из состояний; выработки вариантов управленческих решений; оценок получаемых решений. Решения могут носить характер достоверных, вероятностных или неопределенных, что зависит от степени достоверности исходных предпосылок и параметров.

Блок информации о возможных состояниях объекта предназначен для отображения прогнозируемых состояний объекта управления и может быть задан унарным отношением $OG(L)$ в виде системного справочника гипотетических состояний (здесь L – кардинальное число отношения). Для получения данного блока информации целесообразно экспертным путем выделять, специфицировать и использовать

состояния, которые имеют принципиальную системную значимость и оказывают существенное влияние на вырабатываемые управленческие решения. В информационно-техническом отношении в большинстве случаев это вполне возможно, так как обычно в исходных требованиях на создание объекта управления и системы задается общее вербальное определение их функций. Отношение $OG(L)$ должно быть разделом общего системного тезауруса, а состояния могут относиться к категориям достоверных или вероятностных. Для построения логико-смысловых связей возможные состояния объекта и их правомерные комбинации допускают отображение с помощью M -позиционных двоичных векторных указателей:

$$G_i = \{G_{i1}, G_{i2}, \dots, G_{iM}\}, i = 1, 2, \dots, L. \quad (1)$$

В векторе G_i каждый бит $G_{ik} = 1$ ($k = 1, 2, \dots, M$) позиционно задает определенное гипотетическое состояние объекта управления, соответствующее i -й строке отношения $OG(L)$. Данный вектор ориентирован на задание как уникальных атомарных (одиночных) состояний, так и групп (комбинаций) состояний, поскольку многие реальные объекты управления могут одновременно находиться в нескольких состояниях, технически не исключающих друг друга. Атомарные состояния, входящие в группы, должны иметь индивидуальное представление как в отношении $OG(L)$, так и в векторе G_i , в силу чего верхняя грань $\text{Sup}(M)$ количества бит M в представлении векторов G_i определяется общим количеством выделенных атомарных состояний объекта управления. Для $M < L$ нижняя грань $\text{Inf}(M) = \text{Ant}[\log_2 L]$, где Ant – функция Антье. Если в векторе G_i бит $G_{jk} = 0$, то реализация соответствующего атомарного состояния объекта в рассматриваемой группе состояний не прогнозируется.

В проектировании интеллектуальных систем технического назначения важнейшее значение имеют контрольные эксперименты и вспомогательные уточняющие запросы по оценке функциональных и параметрических свойств объекта управления. Данные свойства образуют множество атрибутов объекта

$$\{S_j\}, j = 1, 2, \dots, h, \dots, Q, \quad (2)$$

которое полностью или частично определяется исходным заданием на создание объекта и си-

стемы управления, либо формируется и оформляется заключением экспертов в результате проведения системного анализа функций, специфицированных в задании. Под контрольными экспериментами и уточняющими запросами здесь и далее понимаются мероприятия, обеспечивающие организацию и получение результатов целенаправленных наблюдений за объектом управления и системой при нормальных и наиболее ответственных возможных условиях эксплуатации, а также реализацию подконтрольного слежения за ходом развития процессов (и, при необходимости, их воссоздание или воспроизведение при повторении указанных условий).

Рассматриваемый набор свойств объекта для каждого из гипотетических состояний отражает определенный (штатный в соответствии с исходным заданием или экспертным заключением) состав функций, выполняемых или не выполняемых объектом и системой, а также обеспечение или не обеспечение объектом и системой требуемых значений параметров. Штатный состав свойств и комбинаций свойств задается унарным отношением $LOS(Q)$ в виде системного справочника описаний выделенных свойств (здесь Q – кардинальное число отношения) и является разделом общего системного тезауруса. В качестве отдельных показателей объекта выделяются и специфицируются те свойства, которые имеют принципиальную системную значимость, отражают с требуемой полнотой гипотетические состояния объекта и оказывают влияние на выработку управленческих решений. Свойства объекта управления могут относиться к категориям достоверных или вероятностных, но для каждого выделенного состояния группа свойств по составу считается уникальной и стабильной. Функциональные и параметрические свойства и их комбинации могут однозначно представляться с помощью двоичных R -позиционных векторных указателей $F_j = F_{j1}, F_{j2}, \dots, F_{jR}$ ($j = 1, 2, \dots, Q$).

Для $R < Q$ нижняя грань $\text{Inf}(R) = \text{Ant}[\log_2 Q]$. Вектор F_j ориентирован на задание как уникальных атомарных свойств объекта, так и групп свойств. В данном векторе каждый бит F_{jk} ($k = 1, 2, \dots, R$) позиционно задает определенное функциональное или параметрическое свойство, которое входит в группу свойств, соответствующих j -й строке отношения $LOS(Q)$.

Атомарные свойства, входящие в группу, должны иметь индивидуальное представление как в отношении $LOS(Q)$, так и в векторе F_j . Указанным способом верхняя грань $Sup(R)$ количества бит R в представлении векторов F_j определяется общим количеством декларированных атомарных свойств объекта управления. Если в векторе F_j бит $F_{jk} = 0$, то реализация соответствующей функции или требуемого значения параметра в рассматриваемой группе свойств не прогнозируется.

Каждое функциональное и параметрическое атомарное свойство S_j из множества (2) для значений $j = 1, 2, 4, 8, \dots, 2^R$, помимо специального лингвистического описания $LOS(j)$, в унарном отношении $LOS(Q)$ сопровождается в базе данных системы синхронным кортежем с атрибутами числовых и логических параметров: типами параметров; диапазонами допустимых значений (уставок) $\{XS_{jk}, YS_{jk}\}$ ($k = 1, 2, 3, \dots, R$) для интервальных числовых параметров; значениями DS_{jk}, LS_{jk} для точечных числовых и точечных логических параметров соответственно; среднеквадратическими отклонениями α_k, β_k (ошибками) измерения числовых интервальных и числовых точечных параметров атомарного свойства объекта. Эти параметры обобщают и комплексно отражают результаты экспертных оценок и предварительного моделирования, а также материалы экспериментальных исследований прототипов. Их совокупность принимается за типовое или эталонное проявление атомарного свойства S_j для значений $j = 1, 2, 4, 8, \dots, 2^R$. Схема обеспечения ассоциативных связей и синхронизации эталонных данных в базе системы представлена в табл. 1.

Таблица 1

Схема организации ассоциативных связей и синхронизации эталонных данных в базе интеллектуальной системы

Унарное отношение $LOS(Q)$	Параметры объекта управления
$LOS(1)$	$\langle \text{ТИП} \rangle XS_{11} YS_{11} ZS_{11} LS_{11} \alpha_1 \beta_1$
$LOS(2)$	$\langle \text{ТИП} \rangle XS_{22} YS_{22} ZS_{22} LS_{22} \alpha_2 \beta_2$
$LOS(3)$	Атрибуты не задаются
$LOS(4)$	$\langle \text{ТИП} \rangle XS_{43} YS_{43} ZS_{43} LS_{43} \alpha_3 \beta_3$
$LOS(5), (6), (7)$	Атрибуты не задаются
$LOS(8)$	$\langle \text{ТИП} \rangle XS_{84} YS_{84} ZS_{84} LS_{84} \alpha_4 \beta_4$
...	...
$LOS(Q)$	

Если в результате эксперимента получен конкретный набор фактографических проявлений функциональных и параметрических свойств $\{E_{jk}\}$ ($k = 1, 2, \dots, R$), то с помощью выполнения процедур идентификации свойств на основе значений $\{E_{jk}\}$ должны быть установлены факты того, что объект или явление обладает или не обладает каждым из возможных параметрических и функциональных свойств. Это достигается путем принятия системой промежуточных дедуктивных решений на основе оценок ответов на вспомогательные запросы. Они реализуются в виде проверок интервальных числовых параметров (уставок):

$$E_{jk} + \alpha_k \leq YS_{jk}; \quad XS_{jk} \leq E_{jk} - \alpha_k, \quad (3)$$

проверок точечных числовых параметров:

$$E_{jk} - \beta_k \leq DS_{jk} \leq E_{jk} + \beta_k \quad (4)$$

и проверок точечных логических параметров выполнения заданных функций $E_{jk} = LS_{jk}$. Проверки (3), (4) отражают факт стробирования числовых параметров при сопоставлении фактографических и эталонных значений с учетом ожидаемых ошибок измерений. При положительных результатах проверок производится установка в единичное значение бита F_{jk} вектора F_j , в противном случае бит F_{jk} устанавливается в нулевое состояние.

Экспертное построение логико-вероятностной модели объекта управления. Совокупность возможных состояний, а также функциональных и параметрических свойств образует логический комплекс «состояния – свойства» объекта управления. Для обеспечения выработки решений по указанному логическому комплексу его целесообразно задавать в виде таблицы (табл. 2). Приведенная табл. 2 по столбцам содержит двоичные представления всех возможных сочетаний состояний и свойств объекта, причем количество бит в одном столбце равно сумме размерностей $M + R$ двоичных векторов G_i и F_j . Максимальное количество столбцов таблицы равно произведению кардинальных чисел $Q \times L$, а общий объем полной таблицы при ее физическом построении $Q \times L \times (M + R)$ бит.

В создаваемом логическом наборе данных не все сочетания состояний и свойств имеют системный смысл или допускают физическую реализацию.

Представление логического комплекса «состояния – свойства» объекта управления

	Векторные указатели S_j																
	1							2							j		
	S_1	S_2	S_3	S_4	...	S_{Q-1}	S_Q	S_1	S_2	S_3	S_4	...	S_{Q-1}	S_Q	S_1	S_2	...
F_{j1}	0	1	0	1	...	0	1	0	1	0	1	...	0	1	0	1	...
F_{j2}	0	0	1	1	...	1	1	0	0	1	1	...	1	1	0	0	...
F_{j3}	0	0	0	0	...	1	1	0	0	0	0	...	1	1	0	0	...
...		
F_{jR}	0	0	0	0	...	1	1	0	0	0	0	...	1	1	0	0	...
...		
G_{i1}	0	0	0	0	...	0	0	1	1	1	1	...	1	1	0	0	...
G_{i2}	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	...	0	0	1	1	...
G_{i3}	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	...
...		
G_{iM}	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	...	0	0

В вопросах построения данного комплекса важнейшее значение имеют знания экспертов по требуемой проблемной области и специалистов по вопросам построения соответствующих объектов управления и систем. Их совместная работа, теоретические обоснования и практический опыт создания и применения прототипов объекта управления позволяют сформировать начальные варианты отношений $LOS(Q)$, $OG(L)$ и таблицы комплекса «состояния – свойства». Следует указать, что данная таблица должна задаваться всегда, но она может непосредственно не вводиться в интеллектуальную систему. В этом случае таблица по умолчанию подразумевается при формировании в базе данных системы управления реальных ассоциативных связей между состояниями и свойствами объекта.

Практика создания сложных систем технического назначения с эвритмическими методами выработки и принятия решений показала следующее. Применение в блоках выработки вариантов решений и в блоках оценок получаемых решений методов и приемов, отличных от вероятностных, дает, как правило, итоговый результат, эквивалентный байесовским решениям [12]. В силу этого при создании интеллектуальных систем технического назначения расчетные значения апостериорных вероятностей состояний объекта управления могут быть использованы в качестве функций правдоподобия этих состояний. Ожидаемая оценка наиболее правдоподобного гипотетического состояния

соответствует максимуму апостериорной вероятности, что предопределяет использование эвритмической схемы выработки решения первого уровня.

Априорной экспертной оценке и обязательному заданию в базе данных системы подлежат следующие вероятности:

$$\{P(G_i)\}; \{P(F_j/G_i)\}, i = 1, 2, \dots, L; \\ j = 1, 2, \dots, Q. \quad (5)$$

По сути, принимается системное соглашение о статистической устойчивости распределений и об эргодичности процессов в системе, без которых бессмысленно дедуктивное формирование обоснованных выводов и решений. Для вычисления апостериорных вероятностей гипотетических состояний систем технического назначения при выработке рациональных решений на основе соотношений Байеса для группы выделенных гипотетических состояний $G_1, G_2, \dots, G_i, \dots, G_L$ отношения $OG(L)$ предварительной экспертной оценке подлежат вероятности реализации этих состояний $P(G_1), P(G_2), \dots, P(G_i), \dots, P(G_L)$, которые должны образовывать полную группу.

Если в результате контрольного эксперимента по функционированию объекта произошло некоторое событие, связанное с проявлением атомарного, либо группового свойства S_h , которому соответствует двоичный векторный указатель F_j , то апостериорные вероятности $P(G_i/F_h)$ реализации состояний G_i определяются соответствующими соотношениями Байеса:

$$P(G_i/F_h) = P(G_i)*P(F_h/G_i)/\{P(G_1)*P(F_h/G_1) + P(G_2)*P(F_h/G_2) + P(G_3)*P(F_h/G_3) + \dots + P(G_L)*P(F_h/G_L)\}, \text{ для } i = 1, 2, \dots, L. \quad (6)$$

Совокупность табл. 2 и выражений (1)–(6) определяется как экспертная логико-вероятностная модель объекта управления M_{ELS} . Если в результате применения данной логико-вероятностной модели выявляется несколько возможных текущих состояний с достаточно близкими вероятностями реализации, привлекается база знаний B_{FS} [2, 7], предназначенная для системного отображения смысловозначающих (распознающих) компонентов, в том числе экспертных качественных оценок, ограничений и логических конструкций

$$\{H_q\}, q = 1, 2, \dots, Q, \quad (7)$$

а также для отображения матрицы связности

$$U = [U_{mn}], m, n = 1, 2, \dots, Q. \quad (8)$$

Эти сведения определяют решающие правила (продукции) или задают фреймовую сеть, с помощью которой на смысловозначительном уровне обеспечивается селекция наиболее правдоподобного текущего состояния [7].

Логико-вероятностная модель (1)–(6) и база знаний (7), (8) образуют платформу для выработки и принятия управленческих решений на более высоких уровнях системной иерархии. Для непосредственной выработки и принятия конкретных управленческих решений в зависимости от степени структурирования проблемной области используется одна из рассмотренных выше интеллектуальных технологий. Выбор интеллектуальной технологии для выработки управленческих решений может быть проведен в определенной мере независимо от технологии первого уровня. После реализации принятого управленческого решения в новом цикле подлежат экспериментальной оценке достигнутые свойства объекта, и по их результатам выполняется уточнение апостериорных вероятностей состояний.

Указанным образом может быть построен многошаговый процесс последовательного перевода объекта в предпочтительные состояния в условиях невозможности глубокой предварительной структуризации проблемной области, которая была бы достаточной для применения

теоретически обоснованных алгоритмов и методов с обеспечением «выводов по правилам». Теоретико-множественная модель M_C рассмотренной системы в общем случае допускает представление в виде многоместного кортежа следующего вида:

$$M_C = \langle M_{ELS}, B_{FS}, V_x, V_u, V_e, F_y, F_z, S, GS_{y \rightarrow u}, GS_{xue \rightarrow zy} \rangle, \quad (9)$$

где V_x, V_u – множество контролируемых и управляемых входов системы и управляемых входов объекта управления соответственно; V_e – то же случайных возмущений и ошибок измерений; F_y, F_z – то же контролируемых выходных функций и параметров органа управления системы и объекта управления; S – множество возможных состояний; $GS_{y \rightarrow u}$ – функция генерации органом управления системы управляющего вектора V_u на основе вектора V_y ; $GS_{xue \rightarrow zy}$ – то же генерации объектом управления и органом управления системы выходных векторов V_z и V_y .

Для сложных реальных объектов управления количество атомарных функциональных и параметрических свойств R может достигать 100–150, а их допустимых комбинаций Q – 3000–5000. Верхние значения параметров M и L могут быть установлены на уровнях 50 и 100 соответственно. Выход за пределы указанных значений интересен в общетеоретическом плане, однако он сопровождается потерей системной обзримости и, как правило, с технических позиций при рациональном построении унарных отношений $OG(L), LOS(Q)$ не приводит к значительному улучшению качества вырабатываемых решений. Неограниченное расширение размерностей отношений влечет за собой эффект «комбинаторного взрыва», при котором обширное пространство возможного выбора может привести либо к худшему решению, либо вообще к отказу от какого-либо решения (к так называемому параличу системного анализа) [12, 13].

Максимальный объем табл. 2 при указанных выше значениях R, Q, M, L может быть оценен на уровне 12,5 Мбайт. Максимальный общий объем таблиц вероятностей $\{P(G_i)\}, i = 1, 2, \dots, L; \{P(F_j/G_i)\}, j = 1, 2, \dots, h, \dots, Q; i = 1, 2, \dots, L$ при указанных значениях R, Q, M, L оценивается на уровне от 2 до 4 Мбайт. Хранение и использо-

вание подобных таблиц вполне обеспечивается средствами современной компьютерной техники. Основная проблема проектирования лежит в области смысловой подготовки таблиц экспертами, оценки их непротиворечивости, технической организации ввода таблиц в компьютерные средства и их оперативного редактирования в процессе наладки и опытной эксплуатации интеллектуальной системы управления.

ВЫВОД

Выполнен анализ теоретических и практических аспектов применения эвристико-алгоритмических методов оценки текущих состояний объектов управления. Приведена технология построения блоков информации о возможных состояниях объекта управления, а также о его функциональных и параметрических свойствах в каждом из состояний. Показана возможность создания на основе указанного набора данных логического комплекса «состояния – свойства» объекта управления. Проанализированы априорная и апостериорная вероятности реализации состояний интеллектуальной системы управления. Представленная экспертная логико-вероятностная модель является основой выработки и принятия управленческих решений на более высоких уровнях системной иерархии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов, Е. С. Управление техническими системами / Е. С. Кузнецов. – М.: МАДИ, 2003.
2. Рыбина, Г. В. Основы построения интеллектуальных систем / Г. В. Рыбина. – М.: Финансы и статистика, 2010.
3. Гулай, А. В. Технологии цифровой обработки информации в интеллектуальных системах / А. В. Гулай, В. М. Зайцев // Материалы IX Междунар. науч.-практич. конф. «Эффективные инструменты современных наук-2013». – Т. 41: Современные информационные технологии, 27 апр. – 5 мая 2013 г. – Прага, 2013. – С. 5–10.
4. Николаев, В. И. Системотехника: методы и приложения / В. И. Николаев, В. М. Брук. – Л.: Машиностроение, 1985.
5. Вентцель, Е. С. Исследование операций / Е. С. Вентцель. – М.: Наука, 1988.
6. Красников, В. С. Разработка управляющих решений / В. С. Красников. – СПб.: СЗАГС, 1999.
7. Осуга, С. Обработка знаний / С. Осуга; пер с япон. В. И. Этова. – М.: Мир, 1989.
8. Бухановский, А. В. Интеллектуальные высокопроизводительные программируемые комплексы моделиро-

вания сложных систем: концепция, архитектура и примеры реализации / А. В. Бухановский, С. В. Ковальчук, С. В. Марьин // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2009. – Т. 52, № 10. – С. 5–24.

9. Латыпов, Н. Н. Инженерная эвристика / Н. Н. Латыпов, С. В. Елкин, Д. А. Гаврилов. – М.: АСТРЕЛЬ, 2012.
10. Кудрявцев, А. В. Методы интуитивного поиска технических решений (методы анализа проблем и поиска решений в технике) / А. В. Кудрявцев. – М.: Речной транспорт, 1991.
11. Джонс, Д. К. Методы проектирования / Д. К. Джонс. – М.: Мир, 1986.
12. Литвак, Б. Г. Разработка управляющих решений / Б. Г. Литвак. – М.: Дело, 2004.
13. Литвак, Б. Г. Экспертные оценки и принятие решений / Б. Г. Литвак. – М.: Патент, 1996.

REFERENCES

1. Kuznetsov, E. S. Technical System Control / E. S. Kuznetsov. – M.: MADI, 2003.
2. Rybina, G. V. Fundamentals of Intellectual System Construction / G. V. Rybina. – M.: Finansy i Statistika (Finance and Statistics), 2010.
3. Gulay, A. V. Technologies for Digital Data Processing in Intellectual Systems / A. V. Gulay, V. M. Zaitsev // Proceedings of IXth International Research-to-Practical Conference “Efficient Tools of Modern Sciences-2013”. – Vol. 41: Modern Information Technologies, April 27 – May 5 2013. – Prague, 2013. – P. 5–10.
4. Nikolayev, V. I. System Engineering: Methods and Applications / V. I. Nikolayev, V. M. Bruk. – L.: Mashinostroenie (Mechanical Engineering), 1985.
5. Venttsel, E. S. Investigation of Operations / E. S. Venttsel. – M.: Nauka (Science), 1988.
6. Krasnikov, V. S. Elaboration of Control Decisions / V. S. Krasnikov. – St. Petersburg: SZAGS, 1999.
7. Osuga, S. Knowledge Processing / S. Osuga; translation from Japanese by V. I. Etov. – M.: Mir (World), 1989.
8. Bukhanovsky, A. V. Intellectual Highly-Productive Programming Complexes for Simulation of Complicated Systems: Concept, Architecture and Examples of Realization / A. V. Bukhanovsky, S. V. Kovalchuk, S. V. Maryin // Proceedings of Higher Education Institutions. Instrumentation. – 2009. – Vol. 52, No 10. – P. 5–24.
9. Latypov, N. N. Engineering Heuristics / N. N. Latypov, S. V. Yelkin, D. A. Gavrilov. – M.: ASTREL, 2012.
10. Kudryavtsev, A. V. Intuitive Search Methods for Engineering Solutions (Methods for Analysis and Search for Decisions in Engineering) / A. V. Kudryavtsev. – M.: Rechnoy Transport (Inland Water Transport), 1991.
11. Jones, D. K. Designing Methods / D. K. Jones. – M.: Mir (World), 1986.
12. Litvak, B. G. Elaboration of Control Decisions / B. G. Litvak. – M.: Delo (Business), 2004.
13. Litvak, B. G. Expert Evaluations and Decision-Making / B. G. Litvak. – M.: Patent, 1996.

Поступила 25.09.2013