

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЗНАЧИМОСТИ

УДК 338.24.01

Резюме. Принимаемые на различных уровнях решения зачастую противоречивы и не позволяют достичь заранее поставленных целей. В данной работе предложено использовать математический аппарат логического дифференциального исчисления функций многозначной логики для вычисления оценок значимости. С их помощью становится возможным анализировать результаты работы систем поддержки принятия решений (СППР) и определить их целесообразность с практической точки зрения.

Ключевые слова: распределительная логистика, оценка надежности, теория сложных систем.



Елена Живицкая,

проректор по учебной работе
Белорусского государственного университета информатики
и радиоэлектроники,
кандидат технических наук, доцент;
jivitskaya@bsuir.by



Юлия Артемчик,

аспирант Белорусского государственного университета
информатики и радиоэлектроники;
julia.khvasko@gmail.com

математического и программного обеспечения на базе системного подхода и методов моделирования. С его помощью можно выполнить анализ текущего состояния экономического объекта или процесса в минимальные сроки, выработать оптимальное решение относительно его развития, исследовать чувствительность принятых мер и дать научно обоснованные выводы об их результатах. Практическое использование такого инструментария позволит предприятию рационально и эффективно управлять процессами с целью удовлетворения требований клиентов, оптимизации затрат, связанных с перемещением и хранением материальных ценностей. Таким образом, окажется возможным минимизировать расходы на объект и потери, то есть достичь основной экономической цели.

В настоящее время вопросы создания СППР достаточно хорошо изучены, однако методы анализа экономических объектов (ЭО), представленных лингвистическими (категориальными) переменными, исследованы неполно. Задание

Экономические процессы, происходящие в современном мире, характеризуются значительной степенью неопределенности, высокой динамичностью, а также сложностью прогнозирования. Принимаемые решения часто становятся противоречивыми и не позволяют достичь поставленных целей. Поэтому актуальной задачей становится разработка инструментария поддержки принятия управленческих решений, основанного на оценке их значимости, с применением специального

Наука – это неустанная многовековая работа мысли: свести вместе посредством системы все познаваемые явления нашего мира.

А. Эйнштейн

значений категориальных переменных дискретными величинами позволяет описать состояние ЭО многозначными данными. Математическим аппаратом их обработки является многозначная логика. Цель данного исследования – развитие ее методов, ориентированных на применение в СППР. Использование такого аппарата позволяет эффективно решить ряд задач на этапе принятия решений и выполнить анализ последствий – динамику ЭО, исследование его чувствительности к изменениям исходных показателей.

Принятие решений и лингвистические переменные

Принятие решения предполагает выбор наиболее предпочтительного варианта из множества допустимых альтернатив. Совокупность показателей, описывающих объект, интерпретируется в СППР как атрибуты. Одной из проблем развития системы является инкапсуляция моделей принятия решений и возможностей адекватной оценки атрибутов окружающей действительности.

Существует ряд подходов к построению моделей принятия решения. В каждой из них особую роль играет формат представления исходных данных. Изначально в СППР использовались атрибуты, принимающие значения из множества действительных чисел. Однако это не всегда оправдано в связи с недостаточной адекватностью измерений экономических показателей, сложностью получения достоверных значений, разнообразием и спецификой методик их расчета.

Альтернативой является преобразование задаваемых действительными числами показателей

в лингвистические, которое называется дискретизацией. Она предусматривает соотнесение одного или комбинации значений нескольких показателей к m -уровневой шкале и в общем случае не приводит к снижению достоверности используемых в СППР атрибутов. Дискретизированные значения более адекватно оценивают экономические показатели и более устойчивы к методикам их измерения [1]. Например, показатель «ожидаемая прибыль проекта» будет принимать значения из множества конечных вариантов мощностью m : прибыль «очень высокая», «высокая», «средняя», «низкая» ($m = 4$). Анализ методов трансформации действительных значений в конечное число интервалов и соотнесение каждого интервала с дискретным значением хорошо исследованы [2, 3].

Процесс принятия решений конструктивно включает в себя 4 этапа:

- *формализацию описания проблемы и объекта;*
- *идентификацию альтернатив;*
- *выбор лучшей альтернативы;*
- *анализ значимости альтернатив к изменению исходных значений.*

Первые три этапа считаются достаточно проработанными, и поэтому усилия исследователей в основном сосредоточены на развитии четвертого этапа.

Анализ значимости – это научное направление, возникшее в результате развития теории надежности, предметом которого являются вероятностные характеристики изменения состояния анализируемого объекта в зависимости от изменения исходных показателей. Оценки значимости характеризуют чувствительность разнообразных вариантов при условии изменения или невозможности измерения значимых начальных параметров.

Актуальность этого анализа объясняется тем, что его результаты позволяют [4]:

- *установить влияние значений отдельных показателей на поведение ЭО;*
- *вычислить устойчивость к изменениям некоторых индикаторов;*
- *обнаружить начальные условия, обеспечивающие рост или падение результирующих показателей ЭО и ориентированные на эффективную стратегию развития;*
- *сформировать при проектировании оптимальную структуру ЭО с учетом разнообразных критериев.*

Один из подходов к анализу значимости предполагает использование логического дифференциального исчисления [5, 6]. Рассмотрим кратко математический аппарат, положенный в основу данного подхода.

Математические основы анализа значимости

Теория надежности сложных систем определяется как их свойство выполнять свои функции в течение периода времени без каких-либо нарушений [7]. Для описания дискретных процессов, реализуемых компонентами с несколькими устойчивыми состояниями, используются лингвистические переменные. Они принимают значения из конечного множества, размерности n . При интерпретации этих значений целыми положительными числами происходит переход к m -значным данным $\{0, 1, \dots, m-1\}$.

Изначально при анализе значимости исследовались два возможных состояния объекта и его исходных показателей. Их математическое описание называется

бинарной системой (BSS). Первые оценки значимости позволяли вычислить вероятность нахождения системы в определенном состоянии в зависимости от значений исходных показателей. В дальнейшем появились другие разновидности оценок – структурные, оценки критичности, коэффициенты значимости [7].

При решении ряда прикладных задач возможности BSS ограничены, потому что функционирование исследуемого объекта не всегда можно представить только бинарно. Когда он имеет несколько устойчивых промежуточных состояний, применяют системы с несколькими уровнями функционирования – мульти-системы (MSS). Их использование в качестве математической модели впервые предложено во второй половине 1970-х гг. [Murchland, 1975, Varlow, 1978]. Определено понятие структурной функции, которая устанавливает соответствие между состоянием объекта и его исходными показателями. Это сложное междисциплинарное направление представлено в работах [Lisnianski, 2003, 2010, Natvig, 2010] и свидетельствует о том, что оно находится на этапе интенсивного развития и чрезвычайно перспективно. Обзор результатов, полученных в теории надежности и в анализе значимости, содержится в работах [Ushakov, 2012, Zio, 2009] и показывает, что большинство методов исследования MSS базируется на тех, которые ранее были получены для BSS.

Рассмотрим математическую интерпретацию надежности распределительной логистики предприятия в терминах сложных систем MSS.

Система и ее компоненты определяются следующими состояниями эффективности:

- «ноль» (0) – положение системы или ее компонентов при отказе;
- «один» (1) – при эффективной работе.

Полагаем, что исследуемая MSS описывается n исходными показателями, ассоциированными с начальными атрибутами. Ее состояние представляется результирующим атрибутом, который принимает значения от 1 до $m-1$. Надежность системы или ее состояние зависит от эффективности работы ее компонентов. Взаимосвязь между значениями i -го исходного показателя (исходного атрибута) x_i ($i=1, \dots, n$) и состоянием MSS (результирующими атрибутами) определяется как структурная функция следующего вида:

$$\varphi(x_1, \dots, x_n) = \varphi(x) : \{0, 1\}^n \rightarrow \{0, 1\}. \quad (1)$$

Применительно к анализу значимости принятого решения структурная функция устанавливает взаимосвязь значений исходных показателей и соответствующих им рекомендуемых решений, выраженных значениями исходных и результирующего атрибутов. Используемая структурная функция является функцией многозначной логики.

Для вычисления оценок значимости MSS априори сделан ряд допущений, упрощающий процесс:

- значения исходных показателей независимы друг от друга, то есть изменение одного исходного атрибута не влияет на изменение другого;
- допустимые значения исходных и результирующего атрибутов ранжированы по некоторому критерию от наименьшего (наихудшего) до наибольшего (наилучшего) значения;

- преобразование состояний MSS и значений исходных показателей поступательно, то есть результирующий атрибут j принимает вид $j-1$ (или $s+j+1$) по причине изменения исходных атрибутов с a на $a-1$ (или с a на $a+1$); такие MSS называются когерентными;

- состояние MSS и его исходных показателей меняется однонаправленно: при увеличении значения исходного атрибута значение результирующего, описывающее принятое решение, не уменьшается и, наоборот, при снижении первого значение второго не возрастает [8].

Каждый компонент системы характеризуется вероятностью уровня производительности:

$$p_{i,a} = Pr \{x_i = a\}, \quad (2)$$

где $p_{i,a}$ – вероятность a -го значения i -го исходного атрибута; $a = \{0, \dots, m-1\}$.

Вероятности состояния MSS являются простыми оценками, как правило, используемыми на этапе предварительного анализа принятого решения. К другим, наиболее часто распространенным оценкам значимости относят:

- оценку структурной значимости, описывающую вероятность изменения состояния MSS в зависимости от значений исходного показателя с точки зрения структурных особенностей;
- оценку Бирнбаума, характеризующую состояние MSS при условии гарантированного изменения значения i -го исходного показателя;
- оценку критичности, устанавливающую вероятность изменения состояния MSS при условии, что i -й исходный показатель

гарантированно изменит свое значение с учетом вероятности этого значения;

- оценку Фуссела–Везели, определяющую вероятность влияния изменения значения i -го исходного показателя на некоторое фиксированное состояние MSS ;
- оценку достижения (сокращения) надежности, соответствующую степени изменения состояния MSS при условии, что i -й исходный показатель изменяет (ухудшает или улучшает) свое значение;
- динамическую оценку значимости, указывающую степень влияния изменения значения i -го исходного показателя на состояние MSS ;
- динамическую интегрированную оценку значимости, вычисляющую вероятность влияния изменения значения одного (не важно какого) исходного показателя на MSS .

Перечисленные оценки анализа значимости достаточно полно изучены для BSS , предложены хорошо апробированные алгоритмы их вычисления, а вот для MSS разработка единого математического подхода по-прежнему актуальна. Одним из перспективных направлений для решения этой задачи является логическое дифференциальное исчисление функций многозначной логики [8].

Динамические оценки для анализа значимости

Динамические свойства булевых функций рассчитываются как частные производные (Bochmann & Posthoff, 1981), поэтому этот инструмент может быть использован для анализа динамических свойств структурной функции.

Состояние системы рассчитывается по формуле (3), согласно которой изменение i -го компонента приводит к изменению ее надежности. Однако состояние системы отказа или восстановления нельзя определить в соответствии с (3).

$$\partial\varphi(x)/\partial x_i = \varphi(1_i, x) \oplus \varphi(0_i, x), \quad (3)$$

где $\varphi(a_i, x) = \varphi(x_1, \dots, a_i, \dots, x_n)$ и $\varphi(b_i, x) = \varphi(x_1, \dots, b_i, \dots, x_n)$; $j, h, a, b \in \{0, 1\}$; \oplus – символ операции XOR (исключающей ИЛИ, например, утверждение $A \oplus B$ верно, когда либо A , либо B верно, но не оба).

Для анализа надежности системы предлагается использовать частные производные структурной функции [5].

Частная производная $\partial\varphi(j \rightarrow h) / \partial x_i (a \rightarrow b)$ функции $\varphi(x)$ n -переменных от переменной x_i обозначает изменение функции от j до h при изменении значений переменной x_i от a до b :

$$\partial\varphi(j \rightarrow h) / \partial x_i (a \rightarrow b) = \begin{cases} 1, & \text{если } \varphi(a_i, x) = j \text{ и } \varphi(b_i, x) = h \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (4)$$

где $\varphi(a_i, x) = \varphi(x_1, \dots, a_i, \dots, x_n)$ и $\varphi(b_i, x) = \varphi(x_1, \dots, b_i, \dots, x_n)$; $j, h, a, b \in \{0, 1\}$ [5].

Таким образом, частные производные (4) для анализа надежности системы могут быть вычислены как логические выражения.

Частные производные $\partial\varphi(j \rightarrow \bar{j}) / \partial x_i (a \rightarrow \bar{a})$ функции $\varphi(x)$ n -переменных по переменной x_i отражают изменение функции от j до \bar{j} при изменении переменной x_i от a до \bar{a} :

$$\partial\varphi(j \rightarrow \bar{j}) / \partial x_i (a \rightarrow \bar{a}) = (\varphi(\bar{a}_i, x) \sim \bar{j}) \wedge (\varphi(\bar{a}_i, x) \sim j), \quad (5)$$

где $a, j \in \{0, 1\}$; \sim – символ операции эквивалентности, \wedge – символ операции логического И [6].

Изменения отказа и восстановления системы являются важным моментом в теории анализа надежности. Приведем частные производные для анализа и расчета.

Производная $\partial\varphi(1 \rightarrow 0) / \partial x_i (1 \rightarrow 0)$ позволяет описать отказ системы (значения функции изменяются от 1 до 0). Если происходит сбой в i -м компоненте (i -я переменная изменяется от 0 до 1), то ситуацию можно описать следующим образом:

$$\partial\varphi(1 \rightarrow 0) / \partial x_i (1 \rightarrow 0) = \varphi(1, x) \wedge \varphi(\bar{1}, x). \quad (6)$$

Производная $\partial\varphi(0 \rightarrow 1) / \partial x_i (0 \rightarrow 1)$ – математическое описание восстановления системы после сбоя:

$$\partial\varphi(0 \rightarrow 1) / \partial x_i (0 \rightarrow 1) = \varphi(1, x) \wedge \varphi(\bar{1}, x). \quad (7)$$

В этом случае восстановление системы рассматривается как изменение структурной функции и i -й переменной от 0 до 1.

Так как функции (6) и (7) являются идентичными, то определение отказа и восстановления системы можно свести к одному уравнению (граничные состояния системы):

$$\partial_b \varphi(x) / \partial x_i = \varphi(1, x) \wedge \varphi(\bar{1}, x). \quad (8)$$

Вероятности состояния сложных систем являются простыми оценками и используются на этапе предварительного анализа принятого решения.

Динамическая оценка значимости представляет обобщение модифицированной структурной значимости и учитывает не только структурные особенности MSS , но и вероятность изменения состояния исследуемых исходных показателей.

Существует два вида показателей динамической надежности:

- динамический показатель надежности компонента ($CDRIs$);
- динамический интегральный показатель надежности ($DIRIs$).

Первый определяет вероятность отказа или восстановления системы при изменении i -го компонента, второй – возможные изменения надежности системы при изменении состояний одного или нескольких ее компонентов.

$CDRIs$ отказа системы представляет собой вероятность отказа системы, вызванную отказом i -го компонента:

$$P_f(x_i) = (\rho/\rho_i) \times r_i, \quad (9)$$

где ρ – количество граничных состояний системы для i -го компонента; ρ_i – количество состояний системы при $\varphi(I_i, x) = 1$, рассчитанных по структурной функции; r_i – вероятность, рассчитанная по формуле (2);

$CDRIs$ восстановления системы представляет собой вероятность восстановления системы, вызванную заменой i -го компонента:

$$P_r(x_i) = (\rho/\rho_0) \times r_i, \quad (10)$$

где ρ определяется по формуле (2) и рассчитывается как частная производная по i -й переменной; ρ_0 – количество состояний системы при $\varphi(0, x) = 0$ и рассчитанное по структурной функции; r_i – вероятность, рассчитанная по формуле (2).

$DIRIs$ отказа системы определяется как вероятность отказа системы при отказе любых компонентов:

$$P_f = \sum_{i=1}^n P_f(x_i) \prod_{q \neq i}^n (1 - P_f(x_q)), \quad (11)$$

где $P_f(x_i)$ – $CDRIs$ отказа системы при отказе i -го компонента, рассчитывается по формуле (9).

$DIRIs$ восстановления системы – вероятность восстановления системы, вызванная заменой компонента:

$$P_r = \sum_{i=1}^n P_r(x_i) \prod_{q \neq i}^n (1 - P_r(x_q)), \quad (12)$$

где $P_r(x_i)$ – $CDRIs$ восстановления системы при замене i -го компонента, рассчитывается по формуле (10).

Использование направленной логической производной функции m -значной логики по частной переменной позволяет определить состояние значения функции в случае изменения значения только одной ее переменной. Параллельные алгоритмы на основе обобщения этого понятия для группы переменных (вектора) получены в [11].

Разработанный математический аппарат логического дифференциального исчисления дает возможность исследовать зависимость изменения значения результирующего атрибута от исходных атрибутов, заданных лингвистическими переменными посредством однородных и регулярных по структуре матричных алгоритмов. Ориентирование аппарата на обработку лингвистических переменных позволяет использовать его в качестве инструмента СППР.

Практическое применение разработанных моделей и критерия

эффективности системы управления предприятием может быть направлено на решение следующих задач:

- проведение оценки и определение путей улучшения деятельности субъекта;
- выбор способа организации процессов;
- анализ перспективности инвестирования денежных средств в развитие посреднических услуг;
- создание многоагентной системы интеллектуальной поддержки принятия решений по управлению предприятием.

Таким образом, оценка исходных значений посредством нечетких чисел и их последующая обработка строгим математическим аппаратом нечеткой логики позволяет получить результат в виде нечеткого значения, который более точно и адекватно описывает реальную ситуацию. ■

Статья поступила в редакцию 10.04.2018 г.

SUMMARY

The decision making are often contradictory and do not allow to achieve pre-set goals at any level. In the study, to calculate the significance estimates it is suggested to use the mathematical apparatus of the logical differential calculus of many-valued logic functions. These estimates are used in the analyzing of the results of the work of decision making support systems and make it possible to evaluate the recommended solutions from a practical point of view.

Keywords: supply chain management, importance, sustainability, multi-state system.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Liu H., Hussain F., Lim Tan C., Dash M. // Data Mining and Knowledge Discovery. 2002. Vol. 6. P. 393–423.
2. Van de Merckt T. // Machine Learning. 1990. P. 1016–1021.
3. Koga M., Uchiyama A., Sampei M. // Electrical Information and Systems Society. 1999. Vol. 119-C (12). P. 1561.
4. Vljajic J.V., van der Vorst J.G. A. J., Hendrix E.M.T. On robustness in food supply chain networks // Towards Effective Food Supply Chains. – Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, 2010. P. 63–82.
5. Asbjornsllett B.E., Rausand M. Assess the vulnerability of your production system // Production Planning & Control. 1999. N10 (3). P. 219–229.
6. Asbjornsllett B.E. Assessing the vulnerability of supply chains // A Handbook of Assessment, Management, and Performance. – Springer, USA, 2009. P. 15–33.
7. Zaitseva E.N. Reliability Analysis of Multi-State System // Dynamical Systems and Geometric Theories. 2003. N1(2).
8. Zaitseva E., Levashenko V., Matiasco K. Failure Analysis of Series and Parallel Multi-State System, Eksploatacja i Niezawodność // Maintenance and Reliability. 2006. Vol. 30, N2.
9. Zaitseva E., Levashenko V. Multi-State System Analysis based on Multiple-Valued Decision Diagram // Journal of Reability and Statistical Studies. 2012. Vol. 5. P. 107–118.
10. Zaitseva E., Levashenko V. Importance Analysis by Logical Differential Calculus // Journal of Automation and Remote Control. 2013. Vol. 74, issue 2. P. 171–182.
11. Ushakov I. (eds.) Handbook of Reliability Engineering. – New York, 1994.
12. Zhivitskaya H. Topological properties and methodology of research of complex logistic systems efficiency // ECONTechMOD. 2014. Vol. 3, N3. P. 23–32.