

УДК 681.61

*Борис Михайлович Герасимов,
Юрий Яковлевич Самохвалов*

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ОБОСНОВАННОСТИ РЕШЕНИЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Обоснованность является фундаментальным понятием теории принятия решений и характеризует их качество. В теоретическом плане обоснованность определяется полнотой и достоверностью исходных данных, глубиной научного познания закономерностей управляемых процессов, качеством математических моделей, используемых при выработке решений, индивидуальными особенностями конкретного лица, принимающего решение (ЛПР), — опытом, интуицией, знаниями и т.д.

В отличие от оперативности, определяемой физически очевидными и непосредственно измеримыми значениями продолжительности этапов управления, обоснованность сложное и гораздо менее исследуемое понятие. Особое практическое значение приобретает оценка обоснованности в интеллектуальных системах поддержки принятия решений, в которых система формирует возможные варианты решений, а окончательное решение принимает человек и несет полную ответственность за последствия от его реализации.

В настоящее время в научной литературе описывается ряд возможных методических приемов к оценке обоснованности. *Цель статьи* — рассмотреть их содержание и дать сравнительную оценку. Соответственно *задачи статьи*: рассмотреть три группы методов оценки обоснованности: по внешнему критерию, вариантный и статистический методы, указать их достоинства и недостатки. Рассмотреть процесс формирования вариантов решения и оценки их обоснованности в интеллектуальной системе.

Первая группа методов базируется на апостериорной оценке обоснованности, т.е. оценке вариантов решения по их последствиям.

Значение обоснованности определяется как степень приближения формируемого варианта к оптимальному по значению крите-

рия эффективности управляемого процесса, т.е. внешнего критерия управления [1].

В этом методе используется выражение определения обоснованности $Q(x)$

$$Q(x) = 1 - [P(x_0) - P(x) / P(x_0)], \quad (1)$$

где $P(x)$ — эффективность управляемого процесса при выбранном варианте решения x ;

$P(x_0)$ — максимальное значение эффективности управляемого процесса, достигаемое при выборе оптимального варианта решения x_0 .

Поскольку $P(x_0) \geq P(x)$ всегда справедливо соотношение $Q(x) \leq 1$, причем равенство $Q(x) = 1$ достигается только при совпадении выбранного решения с оптимальным.

Разновидностью этой группы методов является метод, базирующийся на оценке коэффициента корреляции $K(P, Q)$ между достигнутой эффективностью управления $P(x)$ и значением обоснованности Q [1].

$$K(P, Q) = \frac{\{P - M(P)\}\{Q - M(Q)\}}{\sigma_P \sigma_Q} \quad (2)$$

где $M(P)$, $M(Q)$, — математическое ожидание величин P , Q ;

σ_P , σ_Q , — их среднеквадратическое отклонение.

Поскольку $0 \leq K(P, Q) \leq 1$, то при оптимальном варианте решения $K(P, Q)$ будет близко к единице.

Оценке обоснованности по внешнему критерию присущи следующие недостатки:

1. Необходимо знать оптимальное значение эффективности управляемого процесса $P(x_0)$. Для этого необходимо дальнейшее исследование с помощью специальных математических моделей или имитационного моделирования, что может быть сопоставимым по сложности и времени с решением основной задачи.

2. В этой группе методов не учитывается неполнота и неточность информации об

объекте управления и внешних условиях, что часто приводит к появлению не одного, а множества (области) оптимальных решений. Поэтому любое определение обоснованности решения должно строиться с учетом неопределенности исходных данных.

Вторую группу методов представляют варианты методы. В вариантном методе [2] лицо, принимающее решение (ЛПР) в процессе обоснования, анализирует ряд вариантов из области допустимых. В зависимости от степени неопределенности, которая обычно содержится в исходных данных и индивидуальных человеческих особенностей, ЛПР определяет число вариантов $m_{зад}$, которое он считает целесообразным проанализировать для обоснования решения. Фактическое число рассмотренных вариантов m в зависимости от ресурсов и времени для принятия решения может оказаться меньше $m_{зад}$. В качестве меры обоснованности решений используется отношение числа фактически рассмотренных вариантов m к заданному числу $m_{зад}$:

$$Q(m) = m / m_{зад}. \quad (3)$$

Такой подход нельзя признать удовлетворительным по следующим трем принципиальным соображениям.

1. Результаты, получаемые по соотношению (3), решающим образом зависят от субъективно задаваемого значения $m_{зад}$. Если ЛПР — лицо недостаточно дальновидное, то оно задаст малое число вариантов, все они будут рассмотрены, но отсюда, вопреки соотношению (3), никак нельзя сделать вывод о высокой обоснованности решения.

2. Обоснованность, вычисляемая по соотношению (3), не обладает свойством насыщаемости. Это означает, что при любом числе уже рассмотренных ЛПР вариантов в диапазоне значений $m \in [1, m_{зад} - 1]$ в соответствии с выражением (3) целесообразно дальнейшее проведение исследований, причем прирост значений обоснованности одинаков в областях как малых, так и больших значений m . В действительности же по мере возрастания числа рассмотренных вариантов рост обоснованности должен замедляться с тенденцией практического насыщения. Соотношение для вычисления обоснованности должно учитывать эту особенность, чтобы дать возможность находить в зависимости от конкретных условий целесообразное число исследуемых вариантов, при котором за практически приемлемое время можно достигнуть достаточно высокого значения обоснованности вырабатываемого решения.

3. Теоретически значение обоснованности никогда не может достигнуть значения, равного единице. При любых объеме и глубине

обоснований всегда остается возможность учесть дополнительные данные и тем самым улучшить качество принимаемого решения. Однако по соотношению (3) значение обоснованности при $m = m_{зад}$ равно единице, откуда следует, что исследование по большому, чем $m_{зад}$, числу вариантов нецелесообразно. Поскольку значение $m_{зад}$ задается из субъективных соображений, оно может не совпадать с практически целесообразным числом вариантов. Поэтому использование выражения (3) может на практике приводить к неверным рекомендациям.

Третья группа методов — вероятностные (статистические) методы оценки обоснованности, основой этих методов является тот факт, что наиболее существенным фактором обоснованности принимаемых решений является полнота (объем) исходной информации и ее достоверность.

Статистические методы оценки обоснованности базируются на предположении, что обоснованность определяется объемом статистики (количеством опытов при оценке вариантов решений n), которые оцениваются с точки зрения их истинности.

В этом случае обоснованность определяется в соответствии с предельной теоремой Я. Бернулли [5]

$$P(|Q^* - Q| < \varepsilon) > 1 - \delta; \quad (4)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P = 1$$

где Q^* , Q , — статистическая оценка обоснованности и ее истинное значение соответственно; ε , δ — сколь угодно малые положительные числа.

В соответствии с идеями, высказанными академиком В.А. Трапезниковым [3], для любой сложной системы управления увеличение объема исходной информации приводит к возрастанию обоснованности принимаемых решений в соответствии с выражением

$$Q = Q_{max} (1 - B_0 e^{-I/I_0}), \quad (5)$$

где I — количество имеющейся информации; Q_{max} — обоснованность решений при полной и точной информации, т.е. $Q_{max}=1$; B_0 — количество энтропии — неопределенность принимаемых решений, очевидно $B_0 = 1 - Q_0$; Q_0 — априорная вероятность осведомленности.

Тогда степень обоснованности решений определяется соотношением:

$$Q = 1 - (1 - Q_0) \cdot e^{-\gamma I}, \quad (6)$$

где γ — компонента, характеризующая ценность информации с точки зрения принимаемых решений.

Действительно, величина $\gamma = 1 / I_0$ характеризует скорость возрастания величины Q

в зависимости от объема используемой информации I [4]. На рис. 1 приведены графики зависимости $Q = \varphi(I)$ в процессе решения оператором логических задач [6] при $Q_0 = 0,2$ и $\gamma_1 > \gamma_2 > \gamma_3$.

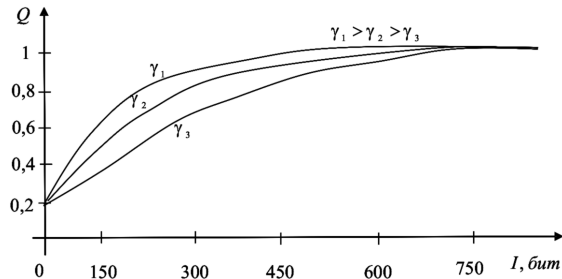


Рис. 1. Зависимость обоснованности Q от количества информации I

Из графиков следует, что вначале происходит весьма существенный рост степени обоснованности (при использовании первых 150 бит информации степень обоснованности возросла 2—3 раза). Однако при $I = 600$ бит достигается почти предельная обоснованность $Q \approx 1$ и дополнительная информация практически бесполезна.

В работе [7] приведен другой вариант вероятностного метода определения обоснованности. Согласно этого метода обоснованность определяется как вероятность выбора правильного (оптимального) решения. При этом обоснованность решения при рассмотрении m вариантов равна

$$Q - 1 - e^{-\alpha m}, \quad (7)$$

где $\alpha = -Ln\{1 - \frac{1}{m_0} [2\Phi_0(\varepsilon / \Delta)^{U-M}]\}$;

$\Phi_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x \exp(-\frac{t^2}{2}) dt$ — интеграл Гаусса;

U — число параметров управления;

$\Delta - \Delta_\varepsilon (\varepsilon = \overline{1, U})$ — среднеквадратическое отклонение параметров управления от экстремальных значений, присущих оптимальным решениям;

ε — интервал изменения Δ , т.е. $-\varepsilon \leq \Delta \leq \varepsilon$;

M — число неоптимизируемых параметров;

m_0 — число вариантов, которые должны быть проанализированы для определения оптимального решения.

Всем приведенным методам оценки обоснованности решений присущ общий недостаток — они не позволяют оценивать и рекомендовать ЛПР вариант решения оптимальный из тех вариантов, которые подготавливаются компьютером в процессе функционирования ИСППР.

В связи с этим рассмотрим более подробно процесс формирования вариантов решения и оценки их обоснованности в ИСППР. Для определенности возьмем ИСППР, в ко-

торой реализована нечеткая продукционная база знаний [8].

Будем считать известными:

- множество решений $D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$, соответствующих выходным переменным y ;
- множество входных переменных $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$;
- диапазоны количественного изменения каждой входной переменной $x_i \in [\underline{x}_i, \overline{x}_i]$; $i = \overline{1, n}$;
- функции принадлежности $\mu(x_i)$, позволяющие представлять переменные x_i , $i = \overline{1, n}$, в виде нечетких множеств;
- матрица знаний.

Требуется: разработать алгоритм принятия решения, позволяющий принимать решения по фиксированному вектору входных переменных $X^* = \langle x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^* \rangle$, $x_i^* \in [\underline{x}_i, \overline{x}_i]$ поставить в соответствие решение $y \in D$.

Для решения данной задачи используют нечеткие логические уравнения, которые строятся на основе матрицы знаний и позволяют вычислять функции принадлежности различных решений $\mu(d)$ при фиксированных значениях входных переменных.

Кратко систему логических уравнений можно записать следующим образом [8]:

$$\mu^{dj}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \bigcup_{p=1}^{kj} \left[\bigcap_{i=1}^n \mu^{a_i^{jp}}(x_i) \right], \quad (8)$$

$$j = \overline{1, m}$$

где $\mu^{a_i^{jp}}(x_i)$ — функция принадлежности параметра x_i нечеткому терму a_i^{jp} , $i = \overline{1, n}$; $j = \overline{1, m}$; $p = \overline{1, K_j}$; $\mu^{dj}(x_1, x_2, \dots, x_n)$ — функция принадлежности вектора входных параметров $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$ значению выходной переменной $y = d_j$; $j = \overline{1, m}$.

В качестве искомого решения рекомендуется ЛПР с решением с наибольшим значением функции принадлежности. При этом указанное значение условно принимается за степень обоснованности решений.

Алгоритм принятия решений содержит следующие операции:

1. Задается вектор значений входных переменных

$$X^* = \langle x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^* \rangle$$

2. Задаются функции принадлежности нечетких термов и определяются значения этих функций для заданных значений входных переменных $x_1^* \div x_n^*$.

3. Используя логические уравнения (8) вычисляются функции принадлежности $\mu^{dj}(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ вектора X^* для всех зна-

чений $d_j, j = \overline{1, m}$. При этом логические операции И(\cap) и ИЛИ(\cup) под функциями принадлежности заменяются на операции *min* и *max*

$$\begin{aligned} \mu(a) \cap \mu(b) &= \min[\mu(a), \mu(b)], \\ \mu(a) \cup \mu(b) &= \max[\mu(a), \mu(b)] \end{aligned} \quad (9)$$

4. Определяется значение d_j^* , функция принадлежности которого минимальна

$$\mu^{d_j^*}(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) = \max_{j=1, m} [\mu^{d_j}(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)] \quad (10)$$

Это и будет рекомендуемым вариантом решения для ЛПР, степень обоснованности которого соответствует значению функции принадлежности $\mu^{d_j^*}(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$.

В *заключении* заметим, что при организации диалога, как правило, отображаются все возможные варианты решения и соответствующие им функции принадлежности, что стимулирует аналитические воз-

можности ЛПР при принятии решения и не ограничивает его инициативу.

Литература

1. **Специальное** математическое обеспечение управления / М. И. Гвардейцев, В. П. Морозов, В. Я. Розенберг. — М.: Сов. радио, 1979. — 534 с.
2. **Горшков С. А.** Проблемы управления силами ВМФ / С. А. Горшков // Морской сборник. — 1980. — № 5. — С. 7—12; № 6. — С. 3—11.
3. **Трапезников В. Л.** Автоматическое управление и экономика / В. Л. Трапезников // Автоматика и телемеханика. — 1963. — № 1. — С. 34—42.
4. **Бонгард М. М.** О понятии “полезная информация” / М. М. Бонгард // Проблемы кибернетики. — 1963. — № 9. — С. 28—37.
5. **Румшицкий Л. З.** Математическая обработка результатов эксперимента. Справочное пособие / Л. З. Румшицкий. — М.: Наука, 1971. — 192 с.
6. **Зинченко В. П.** Введение в эргономику / В. П. Зинченко. — М.: Сов. радио, 1974. — 352 с.
7. **Морозов В. П.** Элементы теории управления ГАП / В. П. Морозов, Я. С. Дымарский. — Л.: Машиностроение, 1981. — 332 с.
8. **Ротштейн А. П.** Интеллектуальные технологии идентификации / А. П. Ротштейн. — Винница: Универсум, 1991. — 320 с.
9. **Герасимов Б. М.** Оценка обоснованности решений и их формирование / Б. М. Герасимов, Ю. Я. Самохвалов. — К.: УСиМ, 1998. — № 3(155). — С. 68—73.

У статті проведений аналіз методів оцінки обґрунтованості рішень у системах управління, розглянуті три групи методів оцінки обґрунтованості: за зовнішнім критерієм, варіантний метод та статичний метод, наведені їхні переваги та недоліки. Розглянутий процес формування варіантів рішення та оцінки їх обґрунтованості в інтелектуальній системі.

Ключові слова: інтелектуальні системи, варіантний метод, методи оцінки обґрунтованості рішень, статичний метод.

In the article the author makes an analysis of assessment methods of decision validity in control systems, he also studies three groups of validity assessment methods: by external criterion, the variant method, and the static method, their advantages and disadvantages are indicated. The process of forming decision variants and assessment of their validity in the intellectual system is considered.

Key words: intelligence systems, variant method, assessment methods of decision validity, static method.