УДК 004.056.5

Informatics and Mathematical Methods in Simulation
Vol. 8 (2018), No. 3, pp. 209-223

ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

В.А. Хорошко, Ю.Е. Хохлачева, М.Е. Шелест

Национальный авиационный университет,
просп. Космонавта Комарова, 1, Киев, 03058, Украина; e-mail: professor_va@ukr.net,
hohlachova@gmail.com, mishel3141@gmail.com

Обоснованность является фундаментальным понятием теории принятия решения и характеризует его качество. В отличие от оперативности, определяемой физически очевидными и непосредственно измеримыми значениями продолжительности этапов управления, обоснованность – сложное и гораздо менее исследуемое понятие. В статье приведены рекомендации и выражения, которые позволяют как лицу, принимающему решение, так и системе поддержки принятия решения провести оценку обоснованности и рассчитать время эффективности процессов принятия решений. Учитывая, что системы поддержки принятия решений представляют собой комплекс технических средств (программного и аппаратного обеспечения), предназначенного для выполнения функций специалистов в ситуациях, требующих принятия обоснованных и квалифицированных решений как в обычных, так и в экстремальных и внештатных условиях, при разработке систем поддержки принятия решений основной целью является создание программ (устройств), которые при решении задач, трудных для специалиста, достигают обоснованности, качества и эффективности решений, предлагаемых системой, а окончательное решение принимает специалист и несет полную ответственность за последствия от его реализации. Целью является рассмотрение возможных методических приемов к оценке обоснованности и предоставление их сравнительной оценки, а также получение выражения для расчета временной эффективности процессов поддержки принятия решений с помощью усеченных процедур. При организации диалога, как правило, отображаются все возможные варианты решения и соответствующие им функции принадлежности, что стимулирует аналитические возможности лица, принимающего решение, при принятии решения и не ограничивает его инициативу.

Ключевые слова: системы поддержки принятия решений**,** оценка времени принятия решений, эффективность процессов поддержки принятия решений.

Введение

Обоснованность является фундаментальным понятием теории принятия решения и характеризует его качество. В теоретическом плане обоснованность определяется полнотой и достоверностью исходных данных, глубиной научного познания закономерностей управляемых процессов, качеством математических моделей, используемых при выработке решений, и индивидуальными особенностями конкретного лица, принимающего решения (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 системах поддержки принятия решений (СППР), в которых система формирует возможные варианты решений, что является качественно новым уровнем автоматизации управленческих процессов. СППР развивают управленческие информационные системы до высокой степени интеллектуализации деятельности при принятии решений в проблемных ситуациях, характеризующихся большой сложностью, неопределенностью и слабой структурированностью.

СППР представляет собой комплекс технических средств (программного и аппаратного обеспечения), предназначенного для выполнения функций специалистов в ситуациях, требующих принятия обоснованных и квалифицированных решений [1] как в обычных, так и в экстремальных и внештатных условиях. Исходя из этого при разработке СППР основной целью является создание программ (устройств), которые при решении задач, трудных для специалиста (человека), достигают обоснованности, качества и эффективности решений, предлагаемых системой, а окончательное решение принимает специалист (человек) и несет полную ответственность за последствия от его реализации. Поэтому при построении СППР обычно используют три принципа [1]:

- мощность системы вначале зависит от объема информации в базе знаний, а затем определяется используемыми в ней процедурами формирования результата, т.е. важно иметь достаточные для решаемых задач знания, а не сложные процедуры вывода решения;
- знания эксперта являются в основном эвристическими, неопределенными, правдоподобными, но не истинными. Это объясняется тем, что решаемые задачи являются трудно формализуемыми. Знания эксперта имеют субъективный характер. Часто эксперт до конца не осознает, как он решает поставленную задачу;
- в связи с трудной формализуемостью решаемых задач с эвристическим субъективным характером используемых знаний объект управления должен участвовать в непосредственном взаимодействии с СППР, протекающем в виде диалога.

Функционирование СППР можно разделить на три этапа:

- получение знаний;
- организация знаний, обеспечивающая эффективную работу системы;
- выдача знаний по запросу объекта управления.

Использование СППР имеет следующие особенности [1]:

- система применяется для решения трудных практических задач;
- качество, обоснованность и эффективность решений СППР не должны уступать решениям человека (эксперта);
- решения СППР должны быть понятны на качественном уровне;
- системы способны пополнять свои знания в ходе диалога.

С учетом всего вышесказанного очевидно, что чрезвычайно важной является оценка времени и эффективности процессов принятия решения.

Цель работы

Цель статьи – рассмотрение возможных методических приемов к оценке обоснованности и получение их сравнительной оценки, а также выражений для расчета временной эффективности процессов поддержки принятия решений с помощью усеченных процедур.

Основная часть

В настоящее время в научной литературе описываются применяемые три группы методов оценки обоснованности.

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 критерия эффективности управляемого процесса, т.е. внешнего критерия управления [2].

В этом методе используется выражение определения обоснованности $\theta(x)$:

$$\theta(x) = 1 - \left[P(x_0) - P(x) / P(x_0) \right], \quad (1)$$

где $P(x)$ – эффективность управляемого процесса при выбранном варианте решений x; $P(x_0)$ - максимальное значение эффективности управляемого процесса, достигаемое при выборе оптимального варианта решений x_0.

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

Разновидностью этой группы методов является метод, базирующийся на оценке коэффициента корреляции $K(P,\theta)$ между достигнутой эффективностью управления $P(x)$ и значением обоснованности θ [2]:

$$K(P,\theta) = \frac{\{P - M(P)\}\{\theta - M(\theta)\}}{\sigma_p \sigma_\theta}, \quad (2)$$

где $M(P), M(\theta)$ - математические ожидания величин P,θ, а σ_p, σ_θ - их среднеквадратические отклонения.

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

Оценке обоснованности по внешнему критерию присущи следующие недостатки:

- необходимо знать оптимальное значение эффективности управляемого процесса $P(x_0)$. Для этого необходимо дальнейшее исследование при помощи специальных математических моделей или имитационного моделирования, что может быть сопоставимым по сложности и времени с решением основной задачи;
- 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 вариантные методы. В вариантном методе [3] лицо, принимающее решение, в процессе обоснования анализирует ряд вариантов на области допустимых значений. В зависимости от степени неопределенности, которая обычно содержится в исходных данных и часто зависит от 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 $m_{зад}$:

$$\theta(m) = m / m_{зад}. \quad (3)$$

Такой подход нельзя признать удовлетворительным по следующим трем принципиальным соображениям:

- результаты, полученные по соотношению (3), решающим образом зависят от субъективно задаваемого значения $m_{зад}$. Если ЛПР – лицо недостаточно дальновидное, то оно задаст малое (недостаточное) число вариантов, и отсюда вопреки соотношению (3), никак нельзя будет сделать вывод о высокой обоснованности решения;
- 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;
- теоретически значение обоснованности не может достигнуть значения, равного единице. При любых объеме и глубине обоснования 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 большему, 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 привести к неверным рекомендациям.

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

Статистические методы оценки обоснованности базируются на предположении, что обоснованность определяется объемом статистик, которые оцениваются с точки зрения их истинности. В этом случае обоснованность определяется в соответствии с предельной теоремой Я. Бернулли [4]:

$$\begin{gathered} P\left(\left|\theta^* - \theta\right| < \varepsilon\right) > 1 - \delta, \\ \lim P = 1,\ n \to \infty, \end{gathered} \tag{4}$$

где θ^*, θ – статистическая оценка обоснованности и ее истинное значение соответственно; ε, δ – малые положительные числа.

В соответствии с [3], для любой сложной системы управления увеличение объема исходной информации приводит к возрастанию обоснованности принимаемых решений в соответствии с выражением:

$$\theta = \theta_{\max}\left(1 - B_0 e^{-I/I_0}\right), \tag{5}$$

где I – количество имеющейся информации; $\theta_{\max}$ – обоснованность решений при полной и точной информации; B_0 – количество энтропии, или неопределенность принимаемых решений (очевидно $B_0 = 1 - \theta_0$); θ – априорная вероятность осведомленности. Тогда степень обоснованности решений определяется соотношением:

$$\theta = 1 - (1 - \theta_0)e^{-\gamma I}, \tag{6}$$

где γ – компонента, характеризующая ценность информации с точки зрения принимаемых решений. Действительно, величиной $\gamma = 1/I_0$ характеризуется скорость возрастания величины θ в зависимости от объема используемой информации.

В работе [5] 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:

$$\theta - 1 = e^{-\alpha m}, \tag{7}$$

где $\alpha = -Ln\left\{1 - \frac{1}{m_0}\left[2\Phi_0(\varepsilon/\Delta)^{U-M}\right]\right\}$, $\Phi_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_0^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right)dt$ – интервал Гаусса; U – число параметров управления; $\Delta - \Delta_e(e = \overline{1,U})$ – среднеквадратическое отклонение параметров управления от экстремальных значений, присущих оптимальным решениям; ε – интервал изменения Δ, т.е. $-\varepsilon \le \Delta \le \varepsilon$; M – число неоптимизируемых параметров; m_0 – число вариантов, которые должны быть проанализированы для определения оптимального решения.

Всем рассмотренным методам оценки обоснованности решений присущ общий недостаток – они не позволяют оценивать и рекомендовать ЛПР вариант решения, оптимальный из тех вариантов, которые подготовлены в процессе функционирования СППР. В связи с этим рассмотрим более подробно процесс формирования вариантов решения и оценки их обоснованности в СППР. Для определенности возьмем СППР, в которой реализована нечеткая продукционная база знаний. Будем считать известными:

- множество решений $D = \{d_1, d_2, d_3, ..., d_m\}$, соответствующих выходным переменным y;
- множество входных переменных $X = \{x_1, x_2, x_3, ..., x_n\}$;
- диапазоны количественного изменения каждой входной переменной $x_i \in \{\underline{x_i}, \overline{x_i}\}$; $i = \overline{1,n}$;
- функция принадлежности $\mu(x_i)$, позволяющая представлять переменные $x_i, i = \overline{1,n}$ в виде нечетких множеств.

Требуется: разработать алгоритм принятия решения $y \in D$ по фиксированному вектору входных переменных $X^* = \langle x_1^*, x_2^*, x_3^*, ..., x_n^* \rangle, x_1^* \in \left[\underline{x_i}, \overline{x_i}\right]$.

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

Систему логических уравнений кратко можно записать следующим образом [3]:

$$\mu^{d_i}(x_1, x_2, x_3, ..., x_n) = \bigcup_{p=1}^{k_j}\left[\bigcup_{i=1}^{n} \mu^{\alpha_i{}^{jp}}\right], \tag{8}$$

где $\mu^{\alpha_i^{jp}}(x_i)$ – функция принадлежности параметра x_i нечеткому терму $\alpha_i^{j_p}$, $i = \overline{1,n}$; $j = \overline{1,m}$; $p = \overline{1,K}$; $\mu^{\alpha_j}(x_1, x_2, x_3, ..., x_n)$ – функция принадлежности вектора входных параметров $X(x_1, x_2, x_3, ..., x_n)$ значению выходной переменной $y = d_i$; $j = \overline{1,m}$.

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

Алгоритм принятия решений содержит следующие операции:

1 операция. Задается вектор значений входных переменных

$$X^* = \left\langle x_1^*, x_2^*, x_3^*, ..., x_n^* \right\rangle .$$

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

3 операция. Используя логические уравнения (8), вычисляются функции принадлежности $\mu^{d_j}(x_1^*, x_2^*, x_3^*, ..., x_n^*)$ вектора X^* для всех значений $d_j,\ j = \overline{1,m}$. При этом логические операции И $(\cap)$ и ИЛИ $(\cup)$ над функциями принадлежности заменяются на операции min и max:

$$\mu(\alpha) \cap \mu(b) = \min\left[\mu(\alpha), \mu(b)\right],$$
$$\mu(\alpha) \cup \mu(b) = \max\left[\mu(\alpha), \mu(b)\right]. \tag{9}$$

4 операция. Определяется значение d_j^*, для которого:

$$\mu^{d_j}(x_1^*, x_2^*, x_3^*, ..., x_n^*) = \max_{\underline{j=1,m}}\left[\mu^{d_j}(x_1^*, x_2^*, x_3^*, ..., x_n^*)\right]. \tag{10}$$

Это и будет рекомендуемым вариантом решения для ЛПР, степень обоснованности которого соответствует значению функции принадлежности $\mu^{d_j}(x_1^*, x_2^*, x_3^*, ..., x_n^*)$.

Теперь рассмотрим возможность создания алгоритма расчета временной эффективности процессов поддержки принятия решений с помощью усеченных процедур. При этом необходимо отметить, что после оценки обоснованности принятия решения также очень важна оценка времени и эффективность процессов принятия решений.

В [7] изложен принцип синтеза матриц переходных вероятностей (цепей Маркова с двумя поглощающими состояниями) процессов поддержки принятия решений с помощью усеченных процедур типа $(k/n)_n$ $(k \le n)$, а также получены выражения для расчета вероятностей эффективности.

Рассмотрим методику и выражения расчета условных, безусловных математических ожиданий и среднеквадратических отклонений времен до принятия решений (временная эффективность) для процедур $(k/4)_4$ $(k = \overline{1,4})$, а также численный расчет временной эффективности.

Начнем с процедуры $(k/4)_k$, для которой матрицы G и $S = NR$ имеют вид согласно [7]:

$$G = \begin{vmatrix} 0 & q & 0 & 0 \\ 0 & 0 & q & 0 \\ 0 & 0 & 0 & q \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}, \ S = \begin{vmatrix} q^4 & p(1+q+q^2+q^3) \\ q^3 & p(1+q+q^2) \\ q^2 & p(1+q) \\ q & p \end{vmatrix}. \tag{11}$$

Из выражения $N=(1-G)^{-1}$ [7,8,9] найдем выражение для функциональной матрицы:

$$N=\begin{vmatrix}1 & q & q^2 & q^3\\ 0 & 1 & q & q^2\\ 0 & 0 & 1 & q\\ 0 & 0 & 0 & 1\end{vmatrix}.$$

Отсюда выражение для векторов $\overline{EV}$ и $\overline{HV}=(2N-1)\overline{EV}-(\overline{EV})^2$ вычисляется как:

$$\overline{EV}=\begin{vmatrix}(1+q+q^2+q^{3)}\\ (1+q+q^2)\\ (1+q)\\ 1\end{vmatrix},$$

$$\overline{HV}=\begin{vmatrix}q+3q^2+3q^3-q^4-2q^5+q^6+q^7\\ 3q-2q^2-q^4+4q^5\\ q\overline{p}\\ 0\end{vmatrix}.$$

Для получения условных математических ожиданий $\overline{EV}$ и дисперсий (среднеквадратичных значений $\overline{HV_j}(j=0,1)$) необходимо вычислить матрицы $\widehat{G_\iota}$ и $\widehat{N_J}$. Поэтому, производя (с учетом матрицы (11)) расчеты, получим с учетом [8,9]:

$$\widehat{G_0}=\begin{vmatrix}0 & 1 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 1\\ 0 & 0 & 0 & 0\end{vmatrix},\ \widehat{N_0}=\begin{vmatrix}1 & 1 & 1 & 1\\ 0 & 1 & 1 & 1\\ 0 & 0 & 1 & 1\\ 0 & 0 & 0 & 1\end{vmatrix},\ \overline{EV}_0=\begin{vmatrix}4\\ 3\\ 2\\ 1\end{vmatrix},\ \overline{HV}_0=\begin{vmatrix}0\\ 0\\ 0\\ 0\end{vmatrix},$$

$$\widehat{G_1}=\begin{vmatrix}0 & \dfrac{q(1-q^3)}{1-q^4} & 0 & 0\\ 0 & 0 & \dfrac{q(1-q^2)}{1-q^3} & 0\\ 0 & 0 & 0 & \dfrac{q(1-q)}{1-q^2}\\ 0 & 0 & 0 & 0\end{vmatrix}.$$

$$\widehat{N_1} = \begin{vmatrix} 0 & \frac{q(1-q^3)}{1-q^4} & \frac{q^2(1-q^2)}{1-q^4} & \frac{q^2(1-q)}{1-q^4} \\ 0 & 1 & \frac{q(1-q^2)}{1-q^2} & \frac{q^2(1-q)}{1-q^2} \\ 0 & 0 & 1 & \frac{q(1-q)}{1-q^2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}. \qquad (12)$$

Из (12) следует:

$$\overline{EV_1} = \begin{vmatrix} \frac{(1+q+q^2+q^3-4q^4)}{1-q^4} \\ \frac{(1+q+q^2-3q^3)}{1-q^2} \\ \frac{(1+q-2q^2)}{1-q} \\ 1 \end{vmatrix},$$

$$\overline{HV} = \begin{vmatrix} \frac{(q+2q^2+3q^3-16q^4-q^5-4q^6-q^7+12q^8+4q^9-12q^{10}-6q^{11})}{(1-q^4)^2} \\ \frac{(3q+2q^2-4q^3-2q^4+9q^5-2q^6+2q^7-4q^8)}{(1-q^3)^2} \\ \frac{(q-2q^2+q^3)}{(1-q^2)^2} \\ 0 \end{vmatrix}.$$

Перейдем к процедуре $(2/4)_4$, для которой матрицы G и $S = NR$ имеют вид:

$$G = \begin{vmatrix} 0 & p & q & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p & q & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p & q & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & q \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix},$$

$$S = \begin{vmatrix} q^3(1+3p) & p^3(1+2q+3q^2) \\ q^3 & p(1+q+q^2) \\ q^2(1+2p) & p^2(1+2q) \\ q^2 & p(1+q) \\ q(1+p) & p^2 \\ q & p \end{vmatrix}.$$

Фундаментальная матрица процедуры $(2/4)_4$ $N=(1-Q)^{-1}$ после вычислений на основании [7,8,9] принимает вид:

$$N=\begin{vmatrix} 1 & p & q & 2pq & q^2 & 3pq^2 \\ 0 & 1 & p & q & 2pq & q^2 \\ 0 & 0 & 1 & p & q & 2pq \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & q \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & p \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}. \tag{13}$$

С учетом матрицы (13) выражение для безусловных векторов $\overline{EV}$ и $\overline{HV}=(2N-1)\overline{EV}-(\overline{EV})^2$ [9] определяют следующим образом:

$$\overline{EV}=\begin{vmatrix} 2(1+pq)+q^2(1+3p) \\ 1+q+q^2 \\ 2(1+pq) \\ 1+q \\ 1+p \\ 1 \end{vmatrix},\ \overline{HV}=\begin{vmatrix} 2q+4q^2-17q^3+8q^4+12q^5-9q^6 \\ q+2q^2-2q^3+q^4 \\ 2q-6q^2+8q^3+4q^4 \\ q-q^2 \\ q-q^2 \\ 0 \end{vmatrix}.$$

Для вычисления условий векторов $\overline{EV}_j$ и $\overline{HV}_j\ (j=\overline{0,1})$ необходимы матрицы $\widehat{G_0}$ и $\widehat{G_1}$. По матрице, приведенной в работах [7,9], вычисленные матрицы имеют вид:

$$\widehat{G_0}=\begin{vmatrix} 0 & \frac{p}{1+3q} & \frac{1+2p}{1+3q} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{p}{1+2q} & \frac{1+p}{1+2q} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{p}{1+p} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}.$$

$$G_1=\begin{vmatrix} 0 & \frac{1+q+q^2}{1+2q+3q^2} & \frac{q(1+2q)}{1+2q+3q^2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{q(1+q)}{1+q+q^2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1+q}{1+2q} & \frac{q}{1+2q} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{q}{1+q} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Для процедуры $(3/4)_4$ аналогичные данные представлены в работах [6-9]:

$$G=\begin{vmatrix} 0 & p & q & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p & q & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p & q \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & q \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix},\ S=\begin{vmatrix} q^2(1++2p+3p^2) & p^3(1+3q) \\ q^2(1+2p) & p^2(1+2q) \\ q(1+p+p^2) & p^3 \\ q^2 & p(1+q) \\ q(1+p) & p^2 \\ q & p \end{vmatrix}.$$

$$N=\begin{vmatrix} 1 & p & q & p^2 & 2pq & 3pq^2 \\ 0 & 1 & 0 & p & q & 2pq \\ 0 & 0 & 1 & 0 & p & p^2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & q \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & p \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix},\ \overline{EV}=\begin{vmatrix} 2(1+pq)+q^2(1+3p) \\ 2(1+pq) \\ 1+p+p^2 \\ 1+q \\ 1+p \\ 1 \end{vmatrix}.$$

$$\overline{HV}=\begin{vmatrix} 2q+4q^2-17q^3+8q^4+12q^5-9q^6 \\ q+2q^2-2q^3+q^4 \\ 2q-6q^2+8q^3+4q^4 \\ p-p^2 \\ p-p^2 \\ 0 \end{vmatrix}.$$

Матрицы $\widehat{G_0}$ и $\widehat{G_1}$ представлены в виде:

$$\widehat{G_0}=\begin{vmatrix} 0 & \frac{p(1+2p)}{1+2p+3p^2} & \frac{1+p+p^2}{1+2p+3p^2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{p}{1+2p} & \frac{1+p}{1+2p} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{p(1+p)}{1+p+p^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{p}{1+p} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}.$$

$$\widehat{G_1} = \begin{vmatrix} 0 & \frac{1+2q}{1+3q} & \frac{q}{1+3q} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1+q}{1+2q} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{q}{1+q} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}.$$

Выражение для векторов $\overline{EV}_j$ и $\overline{HV}_j\,(j=\overline{0,1})$ из-за громоздкости не приводятся.

Перейдем к последней процедуре $(4/4)_4$. Матрицы G и B имеют вид согласно [7]:

$$G = \begin{vmatrix} 0 & p & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix},\; B = \begin{vmatrix} q(1+p+p^2+p^3) & p^4 \\ q(1+p+p^2) & p^3 \\ q(1+p) & p^2 \\ q & p \end{vmatrix}.$$

Матрицы N и векторы $\overline{EV}$ и $\overline{HV}$ можно представить в виде [6,7,8]:

$$P = \begin{vmatrix} 1 & p & p^2 & p^3 \\ 0 & 1 & p & p^2 \\ 0 & 0 & 1 & p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix},\; \overline{EV} = \begin{vmatrix} 1+p+p^2+p^3 \\ 1+p+p^2 \\ 1+p \\ 1 \end{vmatrix}.$$

$$\overline{HV} = \begin{vmatrix} p+3p^2+3p^3-p^4-2p^5+p^6+6p^7 \\ 3p-2p^2-p^4+4p^5 \\ pq \\ 0 \end{vmatrix}$$

По изложенной выше методике матрицы $\widehat{G_0}$ и $\widehat{G_1}$ вычисляются по формулам

$$\widehat{G_0} = \begin{vmatrix} 0 & \frac{p(1-p^3)}{1-p^4} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{p(1-p^2)}{1-p^3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{p(1-p)}{1-p^2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix},\; \widehat{G_1} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \qquad (14)$$

Функциональные матрицы $\widehat{N}_J = (1 - G_j)^{-1} (j = \overline{0,1})$ с помощью матриц (14) определяют как:

$$\widehat{N_0} = \begin{vmatrix} 1 & \frac{p(1-p^3)}{1-p^4} & \frac{p^2(1-p^2)}{1-p^4} & \frac{p^3(1-p)}{1-p^4} \\ 0 & 1 & \frac{p(1-p^2)}{1-p^3} & \frac{p^2(1-p)}{1-p^3} \\ 0 & 0 & 1 & \frac{p(1-p)}{1-p^2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}, \qquad (15)$$

$$N_1 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Векторы $\overline{EV_j} (j = \overline{0,1})$, используя матрицы (15), рассматривают согласно формулам:

$$\overline{EV_0} = \begin{vmatrix} \frac{1+p+p^2+p^3+p^4}{1-p^4} \\ \frac{1+p+p^2-3p^3}{1-p^3} \\ \frac{1+p-2p^2}{1-p^2} \\ 1 \end{vmatrix}, \ \overline{EV_1} = \begin{vmatrix} 4 \\ 3 \\ 2 \\ 1 \end{vmatrix}.$$

Векторы условных дисперсий представим в виде:

$$\overline{HV_0} = \begin{vmatrix} \frac{p+2p^2+3p^3-16p^4-p^5+4p^6-p^7+12p^8+4p^9-12p^{10}-5p^{11}}{(1-p^4)} \\ \frac{3p-2p^2-4p^3-2p^4+9p^5-2p^6+2p^7-4p^8}{(1-p^3)^2} \\ \frac{p-2p^2-3p^3}{(1-p^2)^2} \\ 0 \end{vmatrix}, \ \overline{HV_1} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}.$$

Таким образом, получены все необходимые выражения для расчета временной эффективности процессов поддержки принятия решений с помощью процедур типа $(K/4)_4$.

Приведем так же рассчитанные по полученным выше выражениям данные временной эффективности для всех процедур при $p = 0{,}1 (\delta V_k = +\sqrt{HV_k})$ (табл. 1 и 2).

Приведенные данные позволят количественно сравнить между собой различные процедуры и выбрать наилучшую из них, исходя из конкретной практической задачи.

Таблица 1.

Значения условных математических ожиданий

Вектор математического ожидания	Процедура			
	$(1/4)_4$	$(2/4)_4$	$(3/4)_4$	$(4/4)_4$
$\overline{EV_0}$	2,3687 1,9299 1,4737 1,00	3,2734 1,9299 2,6429 1,4737	3,7297 2,6429 3,00 1,4737	4 3 2 1
$\overline{EV_1}$	4 3 2 1	3,23028 3,00 2,16677 2,00 1,09092 1,00	2,2113 2,1667 1,1081 2,00 1,0909 1,00	1,1107 1,1081 1,0909 1,00
$\overline{EV}$	2,439 2,711 1,90 1,00	3,233 2,71 2,17 1,90 1,10 1,00	2,217 2,18 1,11 1,90 1,90 1,00	1,111 1,11 1,10 1,00

Таблица 2.

Значения условных среднеквадратических отклонений

Вектор среднеквадратического отклонения	Процедура			
	$(1/4)_4$	$(2/4)_4$	$(3/4)_4$	$(4/4)_4$
$\overline{\delta V_0}$	1,1128 0,8142 0,4903 0	0,7623 0,8142 0,4702 0,4993 0 0	0,4441 0,4791 0 0,4993 0 0	0 0 0 0
$\overline{\delta V_1}$	0 0 0 0	0,4113 0 0,3703 0 0,2875 0	0,4642 0,3727 0,3383 0 0,2875 0	0,349 0,3382 0,2875 0
$\overline{\delta V}$	1,0131 0,6371 0,30 0	0,4458 0,6371 0,3802 0,30 0,30 0	0,4732 0,3842 0,3433 0,30 0,30 0	0,3503 0,3433 0,30 0

Выводы

При организации диалога, как правило, отображаются все возможные варианты решения и соответствующие им функции принадлежности, что стимулирует аналитические возможности лица, принимающего решение, при принятии решения и не ограничивает его инициативу.

Полученные решения и выражения позволяют как лицу, принимающему решение, так и системе поддержки принятия решения провести оценку обоснованности и рассчитать время эффективности процессов принятия решений.

Список литературы

1. Тарасов, В.А. Интелектуальные системы поддержки принятия решений: теория, синтез, эффективность / В.А. Тарасов, Б.М. Герасимов, И.А. Левик, В.А. Корнейчук. – К.: МАКНС, 2007. – 336 с.
2. Павлова, Т.А. Специальные разделы математики / Т.А. Павлова, М.Н. Уаврова. – Орел: ФГБоУ ВПО, 2015. – 183 с.
3. Герасимов, Б.М., Самохвалов Ю.Я. Методы оценки обоснованности решений в интеллектуальных системах / Б.М. Герасимов, Ю.Я. Самохвалов // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони, 2009. – №2(5). – С. 9-12.
4. Понамарев, В.Б. Математическая обработка результатов инженерного эксперимента / В.Б. Понамарев, А.Б. Лошкарев. – Екатеринбург: УрФУ, 2016. – 100 с.
5. Морозов, В.П. Элементы теории управления ГАП / В.П. Морозов, Л.С. Дымарский. – Л.: Машиностроение, 1981. – 332 с.
6. Ротштейн, А.П. Интеллектуальные технологии идентификации / А.П. Ротштейн. – Винница: Универсум-Винница, 1999. – 320 с.
7. Яншин, В.В. Синтез и вероятностный анализ усеченных процедур в задаче обработки информации по данным нескольких обзоров / В.В Яншин, В.М. Лисицын // Вопросы радиоэлектроники. Сер. «Общие вопросы радиоэлектроники» , 1986. – №.1. – С. 72-82.
8. Хорошко, В.А. Расчет времени эффективности процессов принятия решений в системах защиты информации / В.А. Хорошко, Н.Б. Дахно, Е.О Тискина // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони, 2009. – №2(5). – С. 36-42.
9. Кремени, Дж. Конечные цепи Маркова. Изд.2-е / Дж. Кремени, Дж. Спелл. – М: Наука, 2009. – 383 с.

ОЦІНКА ЧАСУ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

В.О. Хорошко, Ю.Є. Хохлачова, М.Є. Шелест

Національний авіаційний університет,
просп. Космонавта Комарова, 1, Київ, 03058, Україна; e-mail: professor_va@ukr.net,
hohlachova@gmail.com, mishel3141@gmail.com

У статті наведені рішення і вирази, які дозволяють як особі, що приймає рішення, так і системі підтримки прийняття рішення, провести оцінку обгрунтованості і розрахувати час ефективності процесів прийняття рішень. З огляду на, що системи підтримки прийняття рішень є комплекс технічних засобів (програмного і апаратного забезпечення), призначеного для виконання функцій фахівців в ситуаціях вимагають прийняття обґрунтованих і кваліфікованих рішень як в звичайних, так і в екстремальних і позаштатних умовах, тому при розробці систем підтримки прийняття рішень основною метою є створення програм (пристроїв), які при вирішенні завдань, важких для фахівця, досягають обгрунтованості, якості та ефективності і рішень, пропонованих системою, а остаточне рішення приймає фахівець і несе повну відповідальність за наслідки від його реалізації. При цьому метою є розгляд можливих методичних прийомів до оцінки обґрунтованості і надання їх порівняльної оцінки, а також отримання виразу для розрахунку тимчасової ефективності процесів підтримки прийняття рішень за допомогою усічених процедур. При організації діалогу, як правило, відображаються всі можливі варіанти вирішення і відповідні їм функції приналежності, що стимулює аналітичні можливості особи, яка приймає рішення, при прийнятті рішення і не обмежує його ініціативу. Отримані рішення і вирази дозволяють як особі, що приймає рішення, так і системі підтримки прийняття рішення провести оцінку обгрунтованості і розрахувати час ефективності процесів прийняття рішень.

Ключові слова: системи підтримки прийняття рішень, оцінка часу прийняття рішень, ефективність процесів підтримки прийняття рішень.

EVALUATION OF THE TIME OF DECISION MAKING IN SOLVENCY SUPPORT SYSTEMS

V.A. Horoshko, Yu.E. Khokhlachova, M.E. Shelest

National Aviation University
1. Cosmonaut Komarova Ave, Kiev, 03058, Ukraine, e-mail: professor_va@ukr.net, hohlachova@gmail.com, mishel3141@gmail.com

The article provides solutions and expressions that allow both the decision maker and the decision support system to assess the validity and calculate the time of the effectiveness of decision-making processes. Considering that decision support systems are a complex of technical means (software and hardware) designed to perform the functions of specialists in situations requiring informed and qualified decisions in both normal and extreme conditions. Therefore, when developing solutions, the main goal is to create programs (devices) that, when solving problems that are difficult for a specialist, achieve the validity, quality and efficiency and decisions made by the system, and the final decision is made by the specialist and bears full responsibility for the consequences of its implementation. In this case, the goal is to consider possible methodological methods for evaluating the validity and providing them with a comparative assessment, as well as obtaining an expression for calculating the temporal effectiveness of decision-making processes using truncated procedures. When organizing a dialogue, as a rule, all possible solutions and the corresponding functions of belonging are displayed, which stimulates the analytic capacity of the decision maker when making a decision and does not limit his initiative. The resulting decisions and phrases allow both the decision maker and the decision support system to assess the validity and calculate the time for the effectiveness of decision-making processes.

Key words: decision support systems, decision time estimation, effective decision support processes.