БИОНИКА ИНТЕЛЛЕКТА. 2006. № (65). С. 3–7 ХНУРЭ

УДК 519.81

В. В. Бескоровайный, Э. Г. Петров, И. В. Трофименко

МЕТОД РЕШЕНИЯ ОБЩЕЙ ЗАДАЧИ КОМПАРАТОРНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ МОДЕЛЕЙ МНОГОФАКТОРНОГО ОЦЕНИВАНИЯ

1. Введение

Одной из важнейших задач бионики интеллекта является изучение процессов многофакторного оценивания и выбора решений человеком. Формализация и моделирование этих процессов позволят совершенствовать существующие и создавать новые системы поддержки принятия решений (СППР). Это, в свою очередь, будет способствовать повышению качества принимаемых решений в системах управления и автоматизированного проектирования антропогенных объектов.

В настоящее время в основе моделей принятия решений лежит парадигма *максимизации полезности* [1–2]. Считается, что лицо, принимающее решение (ЛПР), при выборе вариантов из множества допустимых $x \in X$ приписывает им некоторую полезность (ценность) $P(x)$, количественные значения которой и определяют его выбор $x^0 \in X$: $\forall x, y \in X$: $x \sim y \leftrightarrow P(x) = P(y)$; $x \succ y \leftrightarrow P(x) > P(y)$; $x \succsim y \leftrightarrow P(x) \geq P(y)$, $x^0 = \arg\max_{x \in X} P(x)$. Качественные предпочтения ЛПР на множестве альтернатив $X = \{x\}$ задаются с помощью множества бинарных отношений эквивалентности $R_E(X) = \{(x, y): x, y \in X, x \sim y\}$, нестрогого предпочтения $R_{NS}(X) = \{(x, y): x, y \in X, x \succsim y\}$, строгого предпочтения $R_S(X) = \{(x, y): x, y \in X, x \succ y\}$ и представляются порядком одного из видов

$$R^0(X) = x^0 \succ x_i \succ x_j \succ ... \succ x_n, \tag{1}$$

$$R^0(X) = x^0 \sim x_i \sim x_j \sim ... \sim x_n, \tag{2}$$

$$R^0(X) = x^0 \succsim x_i \succsim x_j \succsim ... \succsim x_n. \tag{3}$$

Другие виды порядков могут быть сведены к порядкам (1)–(3). Так часто встречающийся случай выбора ЛПР единственного варианта $x^0 \succ x_i$ $\forall x_i \in X$, $x_i \neq x^0$ может быть представлен совокупностью порядков (1). Другим удовлетворительным вариантом описания такой ситуации является $R^0(X) = x^0 \succ x_i \succ x_j \succ ... \succ x_n$, что может рассматриваться как частный случай порядка (2).

Для количественной оценки предпочтений ЛПР требуется определение метрики в виде функции обобщенной полезности (ФОП) $P(x)$, позволяющей ранжировать альтернативы $x \in X$, формируя порядки вида (1), (2) или (3). ФОП формируются на основе функций полезности частных критериев (ФПЧК) $\xi_i(k_i(x))$, $i = \overline{1, m}$ (где m — количество частных критериев $k_i(x)$). Синтез ФОП сводится к решению множества задач структурной и параметрической идентификации. В общем случае в процессе идентификации требуется решение вопросов, связанных с выбором критериев подобия, входных сигналов, структуры и параметров модели, оценки ее точности и адекватности [3]. Наибольший интерес, как в теоретическом, так и в практическом плане представляют вопросы выбора структуры и параметров (коэффициентов функций полезности частных критериев, их весовых и адаптационных коэффициентов) моделей оценивания $P(x)$ [4–5].

2. Анализ современных исследований и публикаций

Модели многофакторного оценивания и выбора решений строятся на основе аддитивных, мультипликативных или смешанных ФОП следующих видов [4–10]:

$$P_A(x, q_M) = \sum_{i=1}^{m} \lambda_i \xi_i(x); \tag{4}$$

$$P_M(x, q_M) = \prod_{i=1}^{m} [\xi_i(x)]^{\lambda_i}; \tag{5}$$

$$P_{S_1}(x, q_M) = \sum_{i=1}^{m} \lambda_i \cdot \bar{k}_i(x) + \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=i}^{m} \lambda_{ij} \cdot \bar{k}_i(x) \cdot \bar{k}_j(x) + ...; \tag{6}$$

$$P_{S_2}(x) = [\beta \cdot \sum_{i=1}^{m} \lambda_i \cdot \bar{k}_i(x)] + \{(1-\beta) \cdot \prod_{i=1}^{m} [\bar{k}_i(x)]^{\lambda_i}\}, \tag{7}$$

где λ_i — коэффициент важности критерия k_i, выбираемый с учетом условий $\sum_i \lambda_i = 1$; $\lambda_i \geq 0$; $i = \overline{1, m}$; $\xi_i(x) \equiv \xi_i(k_i(x))$ — ФПЧК критерия k_i; λ_{ij} — весовые коэффициенты произведения нормированных критериев $\bar{k}_i \cdot \bar{k}_j$, $i, j = \overline{1, m}$; β — адаптационный коэффициент, определяющий вид схемы, $0 \leq \beta \leq 1$. При $\beta = 1$ модель (7) реализует аддитивную схему (4), при $\beta = 0$ — мультипликативную схему вида (5).

Простейшими ФПЧК являются функции нормирования $\bar{k}_i(x)$, которое может быть произведено, например, по схеме $\bar{k}_i(x) = [k_i(x) - k_i^-] / [k_i^+ - k_i^-]$, где $k_i(x)$ — значение i-го частного критерия для варианта x; k_i^-, k_i^+ — наихудшее и наилучшее значения критерия k_i. При наличии дополнительной информации о ценности свойств альтернативы вместо нормированных значений $\bar{k}_i(x)$ используются более сложные ФПЧК, реализующие отображения $\xi_i : k_i(x) \to E^1$. Они должны быть универсальными и хорошо приспособленными для учета особенностей конкретных ситуаций принятия решений: быть монотонными и безразмерными; иметь единый интервал изменения (например, от 0 до 1); быть инвариантными к виду экстремума частного критерия;

позволять реализовать как линейные, так и нелинейные зависимости от значений критерия $k_i(x)$. Перечисленным требованиям соответствует, в частности, ФПЧК вида [2]

$$\xi_i(x) \equiv \xi_i(k_i(x)) = [\bar{k}_i(x)]^{\alpha_i} = \left(\frac{k_i(x)-k_i^-}{k_i^+-k_i^-}\right)^{\alpha_i}, \qquad (8)$$

где α_i — коэффициент, определяющий вид зависимости. При $\alpha_i = 1$ реализуется линейная, при $0<\alpha_i<1$ — выпуклая, а при $\alpha_i>1$ — вогнутая зависимости.

Для реализации более сложных зависимостей предложена универсальная ФПЧК, позволяющая реализовать линейные, выпуклые, вогнутые и комбинированные (выпукло-вогнутые, вогнуто-выпуклые) зависимости [11]:

$$\xi_i(\bar{k}_i(x)) = \begin{cases} a_i \cdot \left(\dfrac{\bar{k}_i(x)}{\bar{k}_{ia}}\right)^{\alpha_{1i}}, & 0 \le \bar{k}_i(x) \le \bar{k}_{ia}, \\ a_i + (1-a_i)\cdot\left(\dfrac{\bar{k}_i(x)-\bar{k}_{ia}}{1-\bar{k}_{ia}}\right)^{\alpha_{2i}}, & \bar{k}_{ia} < \bar{k}_i(x) \le 1, \end{cases} \qquad (9)$$

где $\bar{k}_{ia}$ — нормированное значение координаты k_{ia} точки перегиба функции; k_{ia}, a_i — значения координат точки перегиба функции, $0 \le a_i \le 1$, α_{1i}, α_{2i} — коэффициенты, определяющие вид зависимости (линейная, выпуклая, вогнутая) соответственно на начальном и конечном отрезках.

При использовании градиентных методов для обеспечения дифференцируемости функции (9) может выполняться ее склейка с помощью кубического сплайна [11].

Вектор параметров q_M для каждого из видов моделей $P_\delta(x, q_M)$, $\delta \in \Delta$, в общем случае, состоит из трех векторов $q_M = [q_\Xi, q_\Lambda, q_B]$, где Δ — множество допустимых видов моделей, включающее, например, модели (4)–(7); q_Ξ — вектор параметров ФПЧК; q_Λ — вектор весовых коэффициентов частных критериев; q_B — вектор адаптационных параметров ФОП. Размерность и состав векторов q_Ξ, q_Λ и q_B определяются выбранными видами ФПЧК $\xi_i(x)$ и ФОП $P_\delta(x, q_M)$.

Вектор-функции $\Xi(x) = [\xi_i(x)]_{i=1}^m$, построенные на основе ФПЧК вида (8), задаются вектором параметров $q_\Xi = [\alpha_1, \alpha_2, ..., \alpha_m]$, а на основе ФПЧК вида (9) — $q_\Xi = [q_{\xi 1}, q_{\xi 2}, ..., q_{\xi m}]$, где $q_{\xi i} = [\bar{k}_{ia}, a_i, \alpha_{1i}, \alpha_{2i}]$. Вектор q_Λ для каждого из видов ФОП задается значениями весовых коэффициентов частных критериев, т. е. $q_\Lambda = [\lambda_1, \lambda_2, ..., \lambda_m]$. Элементами вектора q_B могут быть адаптационные параметры моделей: аддитивно-мультипликативной (7); для условий неопределенности целей и (или) данных [2, 8].

Сложность задачи идентификации моделей многофакторного оценивания $P_\delta(x, q_M)$, $x \in X$, требует ее декомпозиции на комплекс задач: структурной (выбор вида модели $\delta \in \Delta$), параметрической идентификации ФПЧК (определения $q_M = q_\Xi = [\alpha_i]_{i=1}^m$ или $q_M = q_\Xi = [q_{\xi i}]_{i=1}^m$) и ФОП (определения вектора весовых коэффициентов частных критериев $q_M = q_\Lambda = [\lambda_i]_{i=1}^m$ и адаптационных параметров $q_M = q_B = [\beta_i]_{i=1}^{n\beta}$).

Особенностью процессов идентификации моделей многофакторного оценивания и выбора решений является то, что в качестве выходных сигналов в таких задачах выступают оценки и решения ЛПР или эксперта, имеющие качественный или весьма приближенный характер [2]. Традиционно перечисленные задачи решались независимо, как правило, экспертным путем. Для определения вектора весовых коэффициентов q_Λ используются методы ранжирования, парных сравнений, множественных сравнений, непосредственной оценки, Черчмена—Акоффа, Терстоуна, Неймана—Моргенштерна, анализа иерархий [8].

В качестве альтернативы экспертному оцениванию в настоящее время все чаще используется технология компараторной идентификации [2, 4–7].

Существующие методы компараторной идентификации для известной структуры модели многофакторного оценивания $P(x, q_M)$ (где $x \in X$ — альтернатива из множества допустимых; $q_M = [q_\Xi, q_\Lambda, q_B]$ — вектор параметров модели) строятся на основе следующей схемы (рис. 1).

Эксперту или ЛПР предъявляется пара альтернатив $u, v \in X$. Они характеризуются множеством частных критериев $K = \{k_j(x)\}_{j=1}^m$. Значения характеристик предложенных альтернатив $K(u)$ и $K(v)$ формируют в сознании ЛПР представление (неизмеряемые оценки) об их относительной ценности $y = \varphi[K(u)]$ и $z = \varphi[K(v)]$. На основании субъективных представлений о ценностях $y = \varphi[K(u)]$, $z = \varphi[K(v)]$ пары альтернатив $u, v \in X$ ЛПР относит ее к одному из бинарных отношений: эквивалентности $R_E(X)$, предпочтения $R_S(X)$ или нестрогого предпочтения $R_{NS}(X)$.

Формально процесс такого анализа может быть представлен системой компараторов, реализующих соответственно предикаты вида

$$D_1(y,z) = \begin{cases} 1, & \text{если } y \sim z, \\ 0, & \text{если } y \succ z \text{ или } y \prec z; \end{cases} \qquad (10)$$

$$D_2(y,z) = \begin{cases} 1, & \text{если } y \succsim z, \\ 0, & \text{если } y \prec z; \end{cases} \qquad (11)$$

$$D_3(y,z) = \begin{cases} 1, & \text{если } y \succ z, \\ 0, & \text{если } y \prec z \text{ или } y \sim z. \end{cases} \qquad (12)$$

На основе сформированных компараторами (10)–(12) бинарных отношений эквивалентности $R_E(X)$, нестрогого $R_{NS}(X)$ или строгого предпочтения $R_S(X)$, с учетом вида используемой функции общей полезности (8)–(9) могут быть сформированы системы уравнений и (или) неравенств (СУН) следующих видов:

$$P(u, q_M) = P(v, q_M),\ u, v \in R_E(X); \tag{13}$$

$$P(u, q_M) \geq P(v, q_M),\ u, v \in R_{NS}(X); \tag{14}$$

$$P(u, q_M) > P(v, q_M),\ u, v \in R_S(X). \tag{15}$$

Полученные системы уравнений и неравенств дополняются ограничениями на значения параметров $q_M \in Q_M$ для весовых коэффициентов частных критериев $q_\Lambda \in Q_\Lambda$:

$$\sum_{i=1}^{m} \lambda_i = 1,\ \lambda_i \geq 0,\ \forall i = 1, m. \tag{16}$$

В общем случае, при непротиворечивости выборов ЛПР полученные расширенные СУН (13)–(16) могут иметь бесчисленное множество решений. Для получения единственного решения требуется их регуляризация.

В рамках этого подхода, в предположении, что известны параметры ФПЧК, разработаны математические модели и методы идентификации весовых коэффициентов отдельно для аддитивных моделей вида (1) [7], мультипликативных моделей вида (2) [6], для аддитивно-мультипликативных моделей на основе полинома Колмогорова—Габора [9]. Такой подход снижает адекватность получаемых моделей. Для повышения точности и адекватности моделей многофакторного оценивания целесообразным является совместное решение задач определения параметров ФПЧК ($q_\Xi = [\alpha_i]_{i=1}^{m}$ или $q_\Xi = [\bar{k}_{i0}, a_i, \alpha_{1i}, \alpha_{2i}]_{i=1}^{m}$), весовых коэффициентов частных критериев $q_\Lambda = [\lambda_i]_{i=1}^{m}$ и адаптационных параметров $q_B = [\beta_i]_{i=1}^{n\beta}$ на допустимом множестве моделей-претендентов $\Delta = \{\delta\}$.

Целью исследований является разработка метода решения общей задачи структурно-параметрической компараторной идентификации моделей многофакторного оценивания $P(x, q_M)$, $x \in X$, $q_M = [q_\Xi, q_\Lambda, q_B]$, предполагающей совместное определение параметров ФПЧК q_Ξ, весовых коэффициентов частных критериев q_Λ и адаптационных параметров $q_B = [\beta_i]_{i=1}^{n\beta}$ для заданного множества моделей-претендентов $\Delta = \{\delta\}$.

Суть общей задачи идентификации модели многофакторного оценивания состоит в следующем. ЛПР на основе оценок по множеству частных критериев $\{k_i(x)\}_{i=1}^{m}$ устанавливает качественную полезность на множестве альтернатив $x \in X$.

Требуется для установленного ЛПР порядка $R^0(X)$ вида (1), (2) или (3) и заданного множества моделей-претендентов многофакторного оценивания $P_\delta(x, q_M)$, $\delta \in \Delta$, выбрать лучшую из моделей $\delta^0 \in \Delta$ и подобрать наилучшие значения ее параметров $q_M^0 = [q_\Xi^0, q_\Lambda^0, q_B^0] \in Q_M$.

3. Математические модели и метод решения задачи

При разработке метода решения общей задачи структурно-параметрической идентификации ФОП учитывались характерные особенности подзадач и методов их решения. В частности, для задачи компараторной идентификации весовых коэффициентов частных критериев [2]: не менее двух коэффициентов каждого уравнения или неравенства (13)–(15) должны иметь противоположные знаки; при формировании предпочтений ЛПР информативен только выбор на множестве Парето X^K; исходное множество альтернатив X должно содержать не менее двух противоречивых альтернатив.

С учетом целесообразности предварительного выделения на исходном множестве альтернатив $X = \{x\}$ подмножества Парето (эффективных альтернатив) $X^K \subseteq X$ и выбора вида $\delta \in \Delta$ модели $P_\delta(x, q_M)$ исходная схема параметрической компараторной идентификации ФОП (рис. 1) для решения задач структурно-параметрической идентификации должна быть преобразована (рис. 2).

Выбор вида модели $\delta^0 \in \Delta$ и наилучших значений параметров $q_M^0 \in Q_M$, в соответствии с целью решения задачи, может быть проведен по критерию минимума погрешности восстановления предпочтений ЛПР

$$S = \sum_{j=1}^{n} \left| g^0(x_j) - g(x_j, q_M) \right| \to \min_{q_M \in Q_M}, \tag{17}$$

где $n = \text{Card}\, X$ — мощность множества альтернатив; $g^0(x_j)$, $g(x_j, q_M)$ — порядковые номера альтернативы x_j в предпочтении ЛПР $R^0(X)$ и полученном на

Рис. 1. Схема компараторной параметрической идентификации ФОП

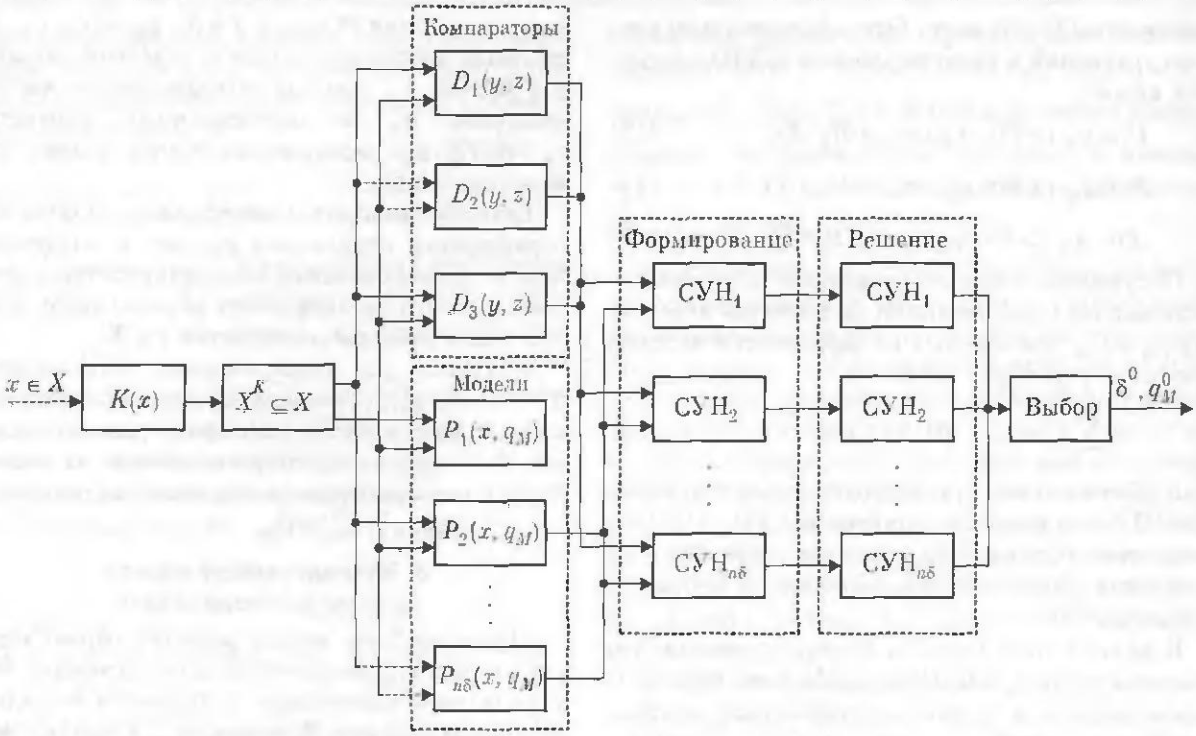

Рис. 2. Схема компараторной структурно-параметрической идентификации ФОП

основании значений ФОП с вектором параметров $q_M \in Q_M$.

Для определения единственного решения $\delta^0 \in \Delta$ и $q_M^0 \in Q_M$ требуется регуляризация задачи (17), т. е. введение дополнительного критерия. Для предпочтений ЛПР в виде (1) на основе отношения $R_S(X)$ в качестве критериев предлагается использовать максимум минимальной разности ФОП смежных альтернатив $x_j,\ x_{j+1} \in R^0(X)$

$$S = \min_j \{P_\delta(x_j, q_M) - P_\delta(x_{j+1}, q_M)\} \to \max_{q_M} \qquad (18)$$

или максимум суммы разностей ФОП смежных альтернатив

$$S = \sum_{j=1}^{n-1} \left| P_\delta(x_j, q_M) - P_\delta(x_{j+1}, q_M) \right| \to \max_{q_M}, \qquad (19)$$

где $n = \text{Card}\, X$ — мощность множества альтернатив; $P_\delta(x_j, q_M)$ — значение ФОП вида $\delta \in \Delta$ со значениями параметров q_M для альтернативы x_j.

Для предпочтений ЛПР, которые могут быть выражены в виде отношения эквивалентности $R_E(X)$, в качестве критерия предлагается использовать минимум суммы модулей разности значений ФОП

$$S = \sum_{j=1}^{n-1} \left| P_\delta(x_j, q_M) - P_\delta(x_{j+1}, q_M) \right| \to \min_{q_M}. \qquad (20)$$

Для предпочтений ЛПР вида (2) необходимо предварительно выделить бинарные отношения строгого предпочтения $R_S(X)$ и эквивалентности $R_E(X)$. Тогда в качестве критерия идентификации можно использовать отношение вида

$$S(q_M) = S_E(q_M) + \frac{1}{S_S(q_M)} \to \min_{q_M \in Q_M}, \qquad (21)$$

где

$$S_E(q_M) = \sum_{x_i, x_j \in R_E(X)} \left| P_\delta(x_i, q_M) - P_\delta(x_j, q_M) \right|;$$

$$S_S(q_M) = \sum_{x_i, x_j \in R_S(X)} \left| P_\delta(x_i, q_M) - P_\delta(x_j, q_M) \right|.$$

Суть метода решения общей задачи параметрической идентификации моделей многофакторного оценивания состоит в следующем (рис. 2). Предварительно на заданном множестве альтернатив $X = \{x\}$ по значениям $K(x)$ выделяется подмножество эффективных $X^K \subseteq X$. С этой целью, в зависимости от свойств (выпуклое или невыпуклое) множества $X = \{x\}$, могут быть использованы различные методы [12]. Затем формируется начальное значение координат вектора весовых коэффициентов $q_\Lambda^{(0)} = [\lambda_i^{(0)}]_{i=1}^m$, удовлетворяющих условию $\sum_{i=1}^m \lambda_i = 1$. Для него определяются наилучшие значения параметров ФПЧК $q_\Xi^{(0)}$, адаптационных параметров $q_B^{(0)}$ и соответствующее им значение используемого критерия (18), (19), (20) или (21). На плоскости $\sum_{i=1}^m \lambda_i = 1$ реализуется схема экстремизации используемого критерия, определяющая последовательность векторов $q_\Lambda^{(1)}$, $q_\Lambda^{(2)}, \dots, q_\Lambda^0$ с выбором для каждого из них лучших значений параметров $q_\Xi^{(j)}$, $q_B^{(j)}$, $j = 1, 2, \dots$.

В зависимости от требований к точности решений, имеющихся временных и вычислительных ресурсов для реализации схем поиска вектора

$q_M^0 = [q_\Xi^0, q_\Lambda^0, q_B^0] \in Q_M$ предлагается использовать множество методов: сеток, случайного поиска, эволюционного поиска, оптимизации по парам координат и их модификации.

Суть метода оптимизации по парам координат для решения задачи выбора весовых коэффициентов состоит в следующем. Для выбранного значения шага изменения параметров h на плоскости $\sum_{i=1}^{m} \lambda_i = 1$ последовательно реализуется схема экстремизации по парам координат $\lambda_1, \lambda_2; \lambda_1, \lambda_3; ...; \lambda_{m-1}, \lambda_m$ при фиксированных значениях других координат. Определяется последовательность векторов $q_\Lambda^{(1)}, q_\Lambda^{(2)}, ...,$ q_Λ^0 с выбором на каждом шаге лучших значений параметров $q_\Xi^{(0)}, q_B^{(0)}$. Процедура повторяется до тех пор, пока C_m^2 последовательных попыток улучшить значение критерия по парам координат λ_i, λ_j, $\forall i, j = \overline{1, m}$ не станут безуспешными. Для повышения точности решений может быть использована процедура мультистарта.

Предложенный метод решения общей задачи параметрической идентификации моделей многофакторного оценивания апробирован, показал свою работоспособность и эффективность на контрольных примерах. При решении контрольных задач все методы позволили определить вектора параметров $q_M^0 \in Q_M$, обеспечивающие полное восстановление исходных предпочтений $R^0(X^K)$, представляемых в виде (1).

Для различных ограничений по точности и времени решения предложены модификация методов параметрической идентификации универсальных функций полезности частных критериев. Установлено, что предложенные модификации метода сеток не значительно уступают базовому методу по точности, но существенно выигрывают у него по времени решения. Это дает возможность использовать их при решении общих задач параметрической или структурно-параметрической идентификации моделей многофакторного оценивания.

4. Выводы

Получил дальнейшее развитие подход компараторной идентификации в части его применения к решению общей задачи структурно-параметрического синтеза моделей многофакторного оценивания. Исходя из современного уровня развития средств вычислительной техники и методов математического программирования, как актуальная сформулирована постановка общей задачи параметрической идентификации моделей многофакторного оценивания, предполагающая совместное определение параметров функций полезности частных критериев $q_\Xi = [q_{\xi i}]_{i=1}^m$, адаптационных параметров $q_B = [\beta_i]_{i=1}^{n\beta}$ и значений весовых коэффициентов частных критериев $q_\Lambda = [\lambda_i]_{i=1}^m$. Предложены методы идентификации параметров ФПЧК $q_\Xi = [q_{\xi i}]_{i=1}^m$ и весовых коэффициентов $q_\Lambda = [\lambda_i]_{i=1}^m$ и на их основе решения общей задачи параметрической идентификации моделей многофакторного оценивания. В рамках этой задачи без использования дополнительной информации становится возможным идентифицировать ФПЧК $q_\Xi = [q_{\xi i}]_{i=1}^m$ и таким образом повысить адекватность моделей оценивания.

Полученные результаты могут быть использованы в системах проектирования, управления, искусственного интеллекта. Их применение позволяет повысить адекватность моделей многофакторного оценивания и выбора решений, сократить время принятия решений, повысить их качество. Направлением дальнейших исследований может быть анализ эффективности моделей и методов решения частных задач с целью формирования комплексов для решения задач структурно-параметрической идентификации ФОП в зависимости от размерности задач, требуемой точности, имеющихся вычислительных и временных ресурсов.

Список литературы: 1. *Макаров И. М., Виноградская Т. М., Рубинский А. А., Соколов В. Б.* Теория выбора и принятия решений. — М.: Наука, 1982. — 328 с. 2. *Овезгельдыев А. О., Петров Э. Г., Петров К. Э.* Синтез и идентификация моделей многофакторного оценивания и оптимизации. — К.: Наук. думка, 2002. — 164 с. 3. *Льюнг Л.* Идентификация систем. Теория для пользователя: Пер. с англ. — М.: Наука, 1991. — 432 с. 4. *Бескоровайний В. В., Трофименко І .В.* Структурно-параметрична ідентифікація моделей багатофакторного оцінювання // Системи озброєння і військова техніка. — 2006. — № 3 (7). — С. 56–59. 5. *Бескоровайный В. В., Трофименко И. В.* Параметрическая идентификация функции общей полезности для многофакторного оценивания и выбора решений // Зб. наук. праць Харківського ун-ту повітряних сил. — Харків: ХУ ПС, 2006. — Вип. 6. № 12. — С. 63–66. 6. *Бескоровайный В. В., Трофименко И. В.* Параметрическая идентификация мультипликативных моделей для многофакторного выбора решений // Зб. наук. праць Харківського ун-ту повітряних сил. — Х.: ХУ ПС, 2005. — Вип. 5, № 5. — С. 74–78. 7. *Петров Э. Г., Шило Н. С.* Методика оценки адекватности моделей точечной идентификации индивидуальных предпочтений ЛПР // Радиоэлектроника и информатика. — 2003. — № 2. — С. 97–103. 8. *Анфилатов В. С., Емельянов А. А., Кукушкин А. А.* Системный анализ в управлении. — М.: Финансы и статистика, 2003. — 368 с. 9. *Петров Э. Г., Булавин Д. А., Петров К. Э.* Использование метода генетических алгоритмов для решения задачи структурно-параметрической идентификации модели индивидуального многофакторного оценивания // Проблемы бионики. — 2004. — № 60. — С. 17–26. 10. *Брахман Т. Р.* Многокритериальность и выбор альтернативы в технике. — М.: Радио и связь, 1984. — 287 с. 11. *Петров Э. Г., Бескоровайный В. В., Писклакова В. П.* Формирование функций полезности частных критериев в задачах многокритериального оценивания // Радиоэлектроника и информатика. — 1997. — № 1. — С. 71–73. 12. *Бескоровайный В. В.* Формирование множества эффективных вариантов при решении задач структурного синтеза территориально распределенных объектов // Радиоэлектроника и информатика. — 2003. — № 4. — С. 113–116.

Поступила в редколлегию 18.10.2006