УДК 004.94:519.83
DOI 10.17513/snt.40250

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Тютюнник В.М., Альгузо М.М.С.

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, e-mail: vmtyutyunnik@gmail.com

Цель исследования – смоделировать процесс принятия решений о внесении того или иного документа в массив в условиях сущностной неопределенности и при заданном для лица, принимающего решения, большом количестве критериев. Базой для проведения исследования стал массив по нобелистике Международного Информационного Нобелевского Центра, так как он одновременно содержит библиотечные, музейные, архивные и электронные документы проблемно-ориентированного характера. Для моделирования использован модифицированный подход к процессу принятия решения из пяти этапов. Показана возможность моделирования принятия решений в этих условиях, лучшим из которых является оптимальное формирование, описание и интеллектуальный анализ комплексного массива проблемно-ориентированных данных. Предложен пятиэтапный подход к процессу принятия решения органом управления, а также семь вариантов информационных ситуаций, для каждой из которых подобрана совокупность критериев принятия оптимальных решений. Все критерии математически описаны. Так, для нечеткого множества состояний среды предложены критерии: приведение субъективного распределения вероятностей значений компонент функции принадлежности, критерий вероятности распределения значений оценочного функционала, критерий типа дисперсии значений оценочного функционала, критерий модального типа. Для моделирования использована типовая информационная ситуация, когда орган принятия решений располагает знанием априорного распределения вероятностей на элементах состояний массива данных. Сделан вывод, что в соответствии с построенной совокупностью моделей принятие решений в каждой статической информационной ситуации приводит к необходимости разработки целенаправленных методов в зависимости от рассмотренных критериев. Такие возможности представлены и опробованы авторами в виде описанных моделей.

Ключевые слова: формирование, описание и интеллектуальный анализ данных, библиотечно-музейно-архивно-информационный массив по нобелистике, условия неопределенности, принятие решений, модели

MODELING THE DECISION MAKING PROCESS UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY

Tyutyunnik V.M., Alguzo M.M.S.

Tambov State Technical University, Tambov, e-mail: vmtyutyunnik@gmail.com

The aim of the study: to model the decision-making process of adding a document to the array under conditions of substantive uncertainty and when the decision maker is given a large number of criteria. The array on nobelistics of the International Nobel Information Center became the base for the study, as it simultaneously contains library, museum, archival and electronic documents of problem-oriented nature. A modified approach to the five-step decision-making process was used for modeling. The possibility of modeling decision making under these conditions is shown, the best of which is the optimal formation, description and intellectual analysis of a complex array of problem-oriented data. A five-stage approach to the decision-making process of a management body is proposed, as well as seven variants of information situations, for each of which a set of criteria for making optimal decisions is selected. All criteria are mathematically described. Thus, for a fuzzy set of states of the environment the following criteria are proposed: bringing the subjective probability distribution of values of the belonging function components, the criterion of probability distribution of values of the estimated functional, the criterion of the type of dispersion of values of the estimated functional, the criterion of modal type. For modeling the typical informational situation when the decision-making body has knowledge of a priori probability distribution on the state elements of the data array is used. It is concluded that, in accordance with the constructed set of models, decision-making in each static information situation leads to the necessity of developing targeted methods depending on the considered criteria. Such possibilities are presented and tested by the authors in the form of the described models.

Keywords: formation, description and intellectual analysis of data, uncertainty conditions, library-museum-archival-information array on nobelistics, decision-making, models

Введение

При формировании, описании и интеллектуальном анализе данных, представляющих собой комплексный проблемно-ориентированный библиотечно-музейно-архивно-информационный массив (БМАИМ) по нобелистике, функционирующий в реальном масштабе времени [1], сотрудники постоянно сталкиваются с условиями неопределенности, которые возникают из-за неоднозначности отнесения каждого элемента нобелистики к этому массиву. Вносить или не вносить ту или иную книгу, музейный, архивный или электронный документ в БМАИМ – такая альтернатива сопровождает каждого сотрудника, так как практически каждый документ включает в себя множество тематических рубрик, смыслов, субъективных суждений, ассоциаций. Из всех классов неопределенностей в данной ситуации главенствует сущностная, которая лежит в сути изучаемых объектов или явлений (процессов).

Известно множество методов моделирования процесса принятия решений в условиях неопределенности [2–4], например аппарат теории вероятностей, теории игр, расплывчатого множества и др. По теме исследования имеются и патенты, например [5]. Однако большинство работ посвящено конкретным ситуациям, например техническим объектам [6], бизнес-процессам [7], экономике в целом [8] и др. Использование каждой конкретной модели для иной ситуации связано со значительными трудностями доработки или переработки, осложняемыми к тому же значительным субъективизмом лица, принимающего решение (ЛПР), в основном из-за растущей многокритериальности [9].

Цель исследования – смоделировать процесс принятия решений о внесении того или иного документа в БМАИМ в условиях сущностной неопределенности и при заданном для ЛПР большом количестве критериев.

Материалы и методы исследования

Базой для проведения исследования стал БМАИМ по нобелистике Международного Информационного Нобелевского Центра (МИНЦ), так как он одновременно содержит библиотечные, музейные, архивные и электронные документы проблемно-ориентированного характера. Сущностная неопределенность проявляется в том, что большое количество поступающих объектов не содержит внешних признаков, позволяющих воспользоваться набором критериев для ЛПР. Поэтому ЛПР вынужден знакомиться с содержательной стороной объекта, на что уходит много времени и усиливается субъективизм. Для моделирования использован модифицированный подход к процессу принятия решения из пяти этапов [10]: 1) формирование множества решений и множества состояний среды комплектования; 2) введение показателей эффективности и полезности, входящих в расчет оценочного функционала; 3) определение руководством МИНЦ ситуации, характеризующей стратегию поведения среды комплектования; 4) выбор критерия принятия решений из множества критериев, характеризующих ситуацию; 5) принятие по выбранному критерию оптимального решения по введению или невведению документа в БМАИМ.

Математический аппарат для моделирования выбран из предположения о семи информационных ситуациях, которые могут возникнуть в процессе принятия решений в условиях неопределенности [11, с. 142–160; 12, с. 220–232]: 1) известна совокупность вероятностей на элементах множества выбираемых документов (используем следующие критерии принятия решений – критерий Байеса, критерий максимальной вероятности, модальный критерий, критерий минимальной дисперсии, критерий минимума энтропии математического ожидания, модифицированный критерий); 2) известно распределение вероятностей с неизвестными параметрами (параметрический критерий Байеса, параметрический критерий максимума вероятности оценочного функционала (ОФ), параметрический критерий минимума дисперсии ОФ, параметрический модальный критерий, параметрический критерий максимума энтропии математического ожидания ОФ); 3) известна система линейных отношений порядка на компонентах распределения состояния среды комплектования (тип отношений порядка задается лицом, принимающим решения, на базе имеющихся у него информации и опыта, ситуации и условий принятия решений); 4) неизвестно распределение вероятностей на элементах множества комплектования (критерий максимальных мер множеств Байеса, максимум интегрального значения Байеса, наибольший интегральный потенциал, критерий Бернулли – Лапласа, критерий Хоменюка, критерий Гиббса – Джейнса); 5) имеются антагонистические интересы среды комплектования (критерий Вальда, критерий Савиджа, функция неопределенности); 6) заданы промежуточные случаи выбора средой комплектования своих состояний (критерий Гурвица, критерий Ходжеса – Лемана, критерий Менгеса, критерий Шнейвайса); 7) задано нечеткое множество состояний среды (приведение субъективного распределения вероятностей значений компонент функции принадлежности, критерий типа вероятности распределения значений ОФ, критерий типа дисперсии значений ОФ, критерий модального типа).

Результаты исследования и их обсуждение

Определим положительные и отрицательные ОФ, которые характерны для активно направленных систем. Именно такими являются системы, обеспечивающие решение задач отнесения каждого элемента нобелистики к БМАИМ. С понятием ОФ обычно связывают расчеты эффективности, полезности, потерь, риска и т.п.

Оценочный функционал F^+ используем для выражения полезности, выигрыша, эффективности, вероятностей достижения цели, а оценочный функционал F^- применим для выражения проигрыша, сожалений, риска. Понятно, что предпочтительнее положительная форма выражения ОФ, но в ряде случаев необходимо и отрицательное значение.

Функция сожалений есть линейное преобразование положительного или отрицательного значения ОФ к относительным единицам измерения. Такое преобразование устанавливает начало отсчета ОФ «нуль» для каждого состояния среды θ_j (j = 1, 2 … n): 1) для F^+ в случае фиксированного состояния среды $\theta_j \in \Theta$ (Θ – множество состояний среды) находится величина $l_j = \max\limits_{\varphi_k \in \Phi} f^+_{jk}$ (l – , Ф – множество решений из φ_k, f+ – текущее значение F+), и функция сожалений определяется в виде $r_j(\varphi_k) = l_j - f^+_{jk}$; 2) для F^- в случае фиксированного состояния среды $\theta_j \in \Theta$ находится величина $L_j = \min\limits_{\varphi_k \in \Phi} f^-_{jk}$ и функция сожалений определяется в виде $r_j(\varphi_k) = f^-_{jk} - L_j$. Функция сожалений имеет отрицательную форму оценочного функционала F^-, $r_j(\varphi_k) \ge 0$, и r_j = 0 хотя бы для одного решения φ_k при $\theta_j \in \Theta$.

Ситуации принятия решений формализуются моделью кортежа {Ф, Θ, F}, откуда можно определить различные *информационные ситуации I* (перечислены выше). *Критерий принятия решения* $\chi \in K$ является алгоритмом, который определяет единственное оптимальное решение $\varphi^o \in \Phi$ либо множество решений для каждой ситуации принятия решения {Ф, Θ, F} и информационной ситуации [13, с. 28–40]. Основные критерии принятия решений в информационной ситуации I_1 задаются распределением вероятностей $p_j = P\{\theta = \theta_j\}$.Если задана модель кортежа {Ф, Θ, F}, то задача принятия решения состоит в том, что органу принятия решения необходимо выбрать одно решение, оптимальное по выбранному критерию. Предположим, задана ситуация принятия решения {Ф, Θ, F} с заданными множествами Ф, Θ и F, с оценочными функционалами F^+ или F^-. Смоделируем для этой ситуации семь основных критериев принятия решения по введению какого-либо элемента в БМАИМ [14, 15].

1. *Критерий Байеса* (максимизация математического ожидания оценочного функционала, преобразование априорных вероятностей в апостериорные). Оптимальными решениями $\varphi_{ko} \in \Phi$ будут такие, для которых математическое ожидание ОФ достигает максимума из возможных:

$$B^+(p,\varphi_k) = \max_{\varphi_k \in \Phi} B^+(p,\varphi_k) = \max_{\varphi_k \in \Phi}\left[\sum_{j=1}^{n} p_j f^+_{jk}\right] = \sum_{j=1}^{n} p_j f^+_{jko}.$$

Здесь $B^+(p,\varphi_k) = \sum\limits_{j=1}^{n} p_j f^+_{jk}$ представляет собой значение оценочного функционала Байеса для решения $\varphi_k \in \Phi$. Первостепенное значение этого критерия для информационной ситуации I_l объясняется его тесной связью с аксиомами теории полезностей Наймана и Моргенштерна, в которых суммарная полезность определяется как математическое ожидание частных полезностей.

2. *Критерий максимизации вероятности распределения ОФ*. Введем величину α, удовлетворяющую неравенствам $\alpha_1 < \alpha < \alpha_2$, где $\alpha_1 = \min\limits_k \min\limits_k f^+_{jk}$, $\alpha_2 = \max\limits_k \max\limits_k f^+_{jk}$, $j = 1,...,n$, $k = 1,...,m$. Смысл критерия в том, чтобы найти решение $\varphi_{ko} \in \Phi$, для которых соблюдается $P\left(f^+_{jk} \ge \alpha\right) = \max\limits_{\varphi_k \in \Phi} P\left(f^+_{jk}\alpha\right)$. Для конкретных α и φ_k неравенство $f^+_{jk} \ge \alpha$ определяет $\Theta_{\alpha,k}$. Тогда вероятность $P\left(f^+_{jk} \ge \alpha\right)$ равна $P\left(f^+_{jk} \ge \alpha\right) = P\left(\theta \in \Theta_{\alpha,k}\right) = \sum\limits_{\theta_j \in \Theta_{\alpha,k}} p\left(\theta = \theta_j\right)$.

В этом критерии величину α задает БМАИМ, поэтому множество Ф зависит от α. Для двух значений α^* и α^{**}, таких, что $\alpha_1 \le \alpha^* \le \alpha_2$, $\alpha_1 \le \alpha^{**} \le \alpha_2$ и $\alpha^* \le \alpha^{**}$ имеем $\overline{\Phi}\left(\alpha^{**}\right) \subseteq \overline{\Phi}\left(\alpha^*\right)$. Кроме того, $P\left(f^+_{jk} \ge \alpha^*\right) \ge P\left(f^+_{jk} \ge \alpha^{**}\right)$.

3. *Критерий минимума дисперсии ОФ*. Смысл критерия в определении для каждого решения $\varphi_k \in \overline{\Phi}$ среднего значения $B^+(p,\varphi_k)$ ОФ (F^+) и дисперсии σ^2_k в виде

$$\sigma^2_k = \sigma^2(p,\varphi_k) = \sum_{j=1}^{n}\left[f^+_{jk} - B^+(p,\varphi_k)\right]^2 p_j .$$

На практике приходится несколько видоизменять вычисление дисперсии, например, таким образом:

$$\sigma^2_{(p,\varphi_k)} = \sum_{j=1}^{n}\left[f_{jk}^{+} - \max_{\varphi_k\in\Phi} B^{+}(p,\varphi_s)\right]^2 p_j \text{ или } \sigma^2_{(p,\varphi_k)} = \sum_{j=1}^{n}\left[f_{jk}^{+} - \frac{1}{m}\sum_{s=1}^{m} B^{+}(p,\varphi_s)\right]^2 p_j .$$

Если ОФ в виде F^{-}, то решение φ_{ko} по критерию минимума ОФ находится из условия $\sigma^2(p,\varphi_{ko}) = \min_{\varphi_k\in\Phi}\sigma^2(p,\varphi_k)$. где величина $\sigma^2(p,\varphi_{ko})$ определяется одним из следующих способов:

$$\sigma^2(p,\varphi_k) = \sum_{j=1}^{n}\left[f_{jk}^{-} - B^{-}(p,\varphi_k)\right]^2 p_j ,\ \sigma^2(p,\varphi_k) = \sum_{j=1}^{n}\left[f_{jk}^{-} - \min_{\varphi_k\in\Phi} B^{-}(p,\varphi_s)\right]^2 p_j ,$$

$$\sigma^2(p,\varphi_k) = \sum_{j=1}^{n}\left[f_{jk}^{-} - \frac{1}{m}\sum_{s=1}^{m} B^{-}(p,\varphi_s)\right]^2 p_j .$$

4. *Модальный критерий* (смысл его в том, что руководство БМАИМ исходит из наиболее вероятного состояния среды $p_{j_1} = \max_{\theta_j\in\Theta} P(\theta=\theta_j)$), тогда оптимальное решение определяется из условия $\frac{1}{s}\sum_{\gamma=1}^{s} f_{j_\gamma k_0} = \max_{\varphi_k\in\Phi}\frac{1}{s}\sum_{\gamma=1}^{s} f^{+}_{j_\gamma k}$. Главное достоинство критерия в выявлении самых вероятных состояний среды, для которых и производится расчет ОФ, что значительно ускоряет процесс принятия решений в условиях неопределенности.

5. *Критерий минимума энтропии математического ожидания ОФ* заключается в нахождении φ_{ko} по условию $H(p,\varphi_{ko}) = \min_{\theta_j\in\Theta} H(p,\varphi_k)$, в котором энтропия математического ожидания ОФ определяется по формуле

$$H(p,\varphi_k) = -\sum_{j=1}^{n}\left(\frac{p_j f_{jk}^{+}}{\sum_{j=1}^{n} p_j f_{jk}^{+}}\right)\ln\left(\frac{p_j f_{jk}^{+}}{\sum_{j=1}^{n} p_j f_{jk}^{+}}\right).$$

Если принятое решение отрицательное, то используется другая формула:

$$H(p,\varphi_k) = -\sum_{j=1}^{n}\left(\frac{p_j \tilde{f}_{jk}^{-}}{\sum_{j=1}^{n} p_j \tilde{f}_{jk}^{-}}\right)\ln\left(\frac{p_j \tilde{f}_{jk}^{-}}{\sum_{j=1}^{n} p_j \tilde{f}_{jk}^{-}}\right).$$

6. *Модифицированный критерий* устанавливает λ при условии $0 \le \lambda \le 1$ и заключается в нахождении решения φ_{ko} из условия $\chi(p,\varphi_{ko}) = \max_{\varphi_k\in\Phi}\chi(p,\varphi_k)$.

При значениях $\lambda = 0$ или 1 этот критерий совпадает с первым критерием Байеса.

Для выбора λ в интервале $\lambda \in [0,\lambda^*]$ предложим следующие точечные оценки: $\hat{\lambda}^*_\alpha(p) = \left(\frac{n}{n-1}\right)^{\frac{\alpha}{2}} \lambda^* \rho^\alpha(p)$. Здесь $\rho(p)$ – расстояние от $p = (p_1,\ldots,p_n)$ до средней точки $\left(\frac{1}{n},\ldots,\frac{1}{n}\right)$ плоского множества $\Delta_n = \left\{p{:}0 \le p_j \le 1\ (j = 1,\ldots,n), \sum_{j=1}^{n} p_j = 1\right\}$, равное

$$\rho(p) = \left[\sum_{j=1}^{n}\left(p_j - \frac{1}{n}\right)^2\right]^{12} = \left(\sum_{j=1}^{n} p_j - \frac{1}{n}\right)^{12}.$$

Точечные оценки $\hat{\lambda}_\alpha^*(p)$ удовлетворяют следующим двум аксиомам: 1) $\hat{\lambda}_\alpha^*(p^0) = 0$ при $\rho(p^0) = 0$, то есть в случае равномерного распределения $p^0 = \left(\frac{1}{n},\ldots,\frac{1}{n}\right)$ модифицированный критерий совпадает с критерием Байеса; 2) $\hat{\lambda}_\alpha^*(p^*) = \lambda^*$ при $\rho(p^*) = \max\limits_{p\in\Delta_n}\rho(p) = \left(\frac{n-1}{n}\right)^{12}$, то есть в случае вырожденного распределения p^* (одна из компонент которого равна единице, остальные – нулю) дисперсия $\sigma^2(p,\varphi_k) = 0$ для любого $\varphi_k \in \Phi$.

Частными случаями точечных оценок $\hat{\lambda}^*(p)$ при $\alpha = 0,1,2$ являются величины

$$\hat{\lambda}_0^*(p) = \lambda\,,\ \hat{\lambda}_1^*(p) = \sqrt{\frac{n}{n-1}}\rho(p)\lambda^*\,,\ \hat{\lambda}_2^*(p) = \frac{n}{n-1}\rho^2(p)\lambda^*\,.$$

Для выбора $\lambda \in \left[\lambda^{**},1\right]$ используются точечные оценки вида

$\hat{\lambda}_\alpha^{**}(p) = 1 - \left(\frac{n}{n-1}\right)^2 \rho^\alpha(p)\left(1-\lambda^{**}\right)$ с неотрицательными α.

Величины $\hat{\lambda}_\alpha^{**}(p)$ удовлетворяют следующим двум аксиомам:

1) $\hat{\lambda}_\alpha^{**}(p^0) = 1$ при $\rho(p^0) = 0$, то есть в случае равномерного распределения $p^0 = \left(\frac{1}{n},\ldots,\frac{1}{n}\right)$ модифицированный критерий совпадает с критерием минимума дисперсии;

2) $\hat{\lambda}_\alpha^{**}(p^*) = \lambda^{**}$ при $\rho(p^*) = \max\limits_{p\in\Delta_n}\rho(p) = \left(\frac{n-1}{n}\right)^{12}$, то есть в случае вырожденного распределения p^* дисперсия $\sigma^2(p^*,\varphi_k) = 0$ для любого $\varphi_k \in \Phi$ и оптимальное решение принимается по критерию Байеса.

Таким образом, если руководство БМАИМ считает, что величина λ в модифицированном критерии $\chi_\Delta(p,\varphi_k)$ удовлетворяет неравенствам $\lambda^{**} \le \lambda \le 1$, то при использовании точечной оценки $\hat{\lambda}_\alpha^{**}(p)$ принимается решение из условия максимума $\chi(p,\varphi_k)$ по $\varphi_k \in \Phi$ для $\lambda = \hat{\lambda}_\alpha^{**}(p)$. Частными случаями точечных оценок $\hat{\lambda}_\alpha^{**}(p)$ при $\alpha = 0,1,2$ являются

$$\hat{\lambda}_0^{**}(p^*) = \lambda^{**}\,,\ \hat{\lambda}_1^{**}(p) = 1 - \sqrt{\frac{n}{n-1}}\rho(p)\left(1-\lambda^{**}\right),\ \hat{\lambda}_2^{**}(p) = 1 - \frac{n}{n-1}\rho^2(p)\left(1-\lambda^{**}\right).$$

Для выбора $\lambda \in \left[\lambda^*,\lambda^{**}\right]$ можно предложить следующие точечные оценки:

1) $\hat{\lambda}_\alpha(p) = \lambda^* + \left(\frac{n}{n-1}\right)^{\frac{\alpha}{2}} \rho^\alpha(p)\left(\lambda^{**}-\lambda^*\right)$, где $\alpha \ge 0$, при этом точечные оценки удовлетворяют следующим двум аксиомам: 1) $\hat{\lambda}_\alpha(p^0) = \lambda^*$ при $\rho(p^0) = 0$, то есть в случае равномерного распределения $p^0 = \left(\frac{1}{n},\ldots,\frac{1}{n}\right)$ в модифицированном критерии большее предпочтение дается критерию Байеса; 2) $\hat{\lambda}_\alpha(p^*) = \lambda^{**}$ при $\rho(p^*) = \max\limits_{p\in\Delta_n}\rho(p) = \left(\frac{n-1}{n}\right)^{12}$, то есть в модифицированном критерии большее предпочтение дается критерию минимума дисперсии $\sigma^2(p,\varphi_k)$, причем $\sigma^2(p^*,\varphi_k) = 0$ для любого $\varphi_k \in \Phi$ и решение принимается по критерию Байеса. Частными случаями точечных оценок $\hat{\lambda}_\alpha(p)$ при $\alpha = 0,1,2$ являются

$$\hat{\lambda}_0(p) = \lambda^{**},\ \ \hat{\lambda}_1(p) = \lambda^* + \sqrt{\frac{n}{n-1}}\rho(p)\left(\lambda^{**}-\lambda^*\right),\ \hat{\lambda}_2(p) = \lambda^* + \frac{n}{n-1}\rho^2(p)\left(\lambda^{**}-\lambda^*\right).$$

7. *Условные решения*. Руководство БМАИМ выделяет один критерий, который называют главным, а на остальные критерии принятия решений из множества K_l налагаются ограничения; такое решение назовем *условным*. Для задач оптимизации и принятия решений характерным является задание ограничений либо в форме неравенств $c_1^l \le \chi_1^l \le C_1^l$, либо в форме равенств $\chi_1^l = c_1^l$. Поскольку поиск оптимального решения сводится к перебору конечного числа вариантов, то задание ограничения в форме точного равенства в большин-

стве случаев является не совсем корректным и приводит к отсутствию условного решения. В противоположность этому ограничения в форме неравенств являются более естественными и позволяют руководству БМАИМ проводить своеобразный анализ по установлению пределов значений величин c_1^l и C_1^l нижней и верхней границ значений критерия χ_1^l. Например, включить ту или иную книгу в БМАИМ можно только при наличии упоминания в ней хотя бы одного лауреата Нобелевских премий или члена семейства Нобелей (нижний критерий).

Таким образом, если $\chi_1^s \in K_I$ – главный критерий, то условные решения находятся из следующей задачи:

$$\chi_1^s\left(\varphi_{ko}\right) = \operatorname*{opt}_{\varphi_k \in \Phi} \chi_1^s\left(\varphi_k\right),\ c_1^l \le \chi_1^l \le C_1^l,\ (l = 1,\ldots,r;\ l \ne s).$$

Частным случаем сформулированной задачи поиска условных решений является случай, рассматривающий вместо множества K_I подмножество $\bar{K}_I \subset K_I$.

Пример. Пусть $\bar{K}_I = \left\{\chi_1^1, \chi_1^2\right\}$, где $\chi_1^1 = B^+\left(p, \varphi_k\right)$, $\chi_1^2 = \sigma^2\left(p, \varphi_k\right)$, причем вектор априорного распределения $p = \left(p_1, \ldots, p_n\right)$ задан, а χ_1^1 – главный критерий. Ограниченное решение φ_{ko} находится из условия

$$B^+\left(p, \varphi_{ko}\right) = \max_{\varphi_k \in \Phi} B^+\left(p, \varphi_{ko}\right),\ c_1 \le \sigma^2\left(p, \varphi_k\right) \le C_1,$$

где c_1, C_1 – заданные положительные константы. Можно определить класс условных решений и без выделения главного критерия принятия решения непосредственно как решение системы неравенств $c_1^l \le \chi_1^l\left(\varphi_k\right) \le C_1^l$ $(l = 1,\ldots,r_1)$.

Заключение

Очевидным является утверждение, что в соответствии с построенной совокупностью моделей *принятие решений в каждой статической информационной ситуации* приводит к необходимости разработки целенаправленных методов в зависимости от рассмотренных критериев. Такие возможности представлены и опробованы авторами в виде описанных моделей. Это не касается вопросов принятия решений в динамике, которые необходимо рассматривать на основе совершенно иных математических выкладок.

Список литературы

1. Тютюнник В.М., Альгузо М.М.С. Формирование данных в библиотечно-музейно-архивно-информационном массиве // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2024. № 6. С. 40–44. URL: http://pribor.tgizd.ru/ru/arhiv/mount6year2024 (дата обращения: 20.10.2024).

2. Кохендерфер М., Уилер Т., Рэй К. Алгоритмы принятия решений. М.: ДМК Пресс, 2023. 684 с.

3. Трухаев Р.И. Модели принятия решений в условиях неопределенности. М.: Наука, 1981. 254 с. [Электронный ресурс]. URL: https://knigogid.ru/books/1923758-modeli-prinyatiya-resheniy-v-usloviyah-neopredelennosti?ysclid=m4v6c37ug5831085949 (дата обращения: 20.10.2024).

4. Абд Алхади Х., Минин Ю.В., Тютюнник В.М. Синтез функции принадлежности и оператора агрегирования в нечетких информационных системах принятия решений // Промышленные АСУ и контроллеры. 2023. № 5. С. 3–7. DOI: 10.25791/asu.5.2023.1434.

5. Патент РФ № 2534924. Патентообладатель Российский государственный торгово-экономический университет, 2014. Бюл. № 15.

6. Горелова Г.В. Модели принятия решений при проектировании и управлении объектами в условиях вероятностной неопределенности // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2019. № 1 (203). С. 188–199. URL: https://izv-tn.tti.sfedu.ru/index.php/izv_tn/article/view/63 (дата обращения: 20.12.2024).

7. Мадера А.Г. Моделирование и оптимизация бизнес-процессов и процессных систем в условиях неопределенности // Бизнес-информатика. 2017. № 4 (42). С. 74–82. DOI: 10.17323/1998-0663.2017.4.74.82.

8. Королев О.Л., Куссый М.Ю., Сигал А.В. Применение энтропии при моделировании процессов принятия решений в экономике. М.: Инфра-М, 2022. 202 с.

9. Петров Э.Г., Крючковский В.В., Петров К.Э. Нормативная формализация процесса принятия решений в условиях многокритериальности и интервальной неопределенности // Проблемы информационных технологий. 2014. № 15. С. 7–13. URL: https://oaji.net/articles/2014/1349-1415356078.pdf (дата обращения: 19.10.2024).

10. Nashed S.B., Mahmud S., Goldman C.V., Zilberstein S. Causal Explanations for Sequential Decision Making Under Uncertainty // Proc. of the 22nd International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2023), 2023. P. 2307–2309. [Электронный ресурс]. URL: https://ifaamas.org/Proceedings/aamas2023/pdfs/p2307.pdf (дата обращения: 20.10.2024).

11. Филинов-Чернышев Н.Б. Разработка и принятие управленческих решений. Москва: Юрайт, 2024. 338 с. [Электронный ресурс]. URL: https://lib.dm-centre.ru/lib/document/gpntb/ESVODT/77db01194ba4076d156323f68dc727ad/ (дата обращения: 20.10.2024).

12. Kochenderfer M.J. Decision making under uncertainty. Cambridge (Massachusetts): The MIT Press, 2015. 350 p. [Электронный ресурс]. URL: https://web.stanford.edu/group/sisl/public/dmu.pdf (дата обращения: 18.10.2024).

13. Кремлев А.Г. Основные понятия теории игр. Екатеринбург: изд-во Урал. ун-та, 2016. 144 с. [Электронный ресурс]. URL: https://znanium.ru/catalog/document?id=422992 (дата обращения: 18.10.2024).

14. Абд Алхади Х., Минин Ю.В. Синтез функции принадлежности и оператора агрегирования в нечетких информационных системах принятия решений // Промышленные АСУ и контроллеры. 2023. № 5. С. 3–7. DOI: 10.25791/asu.5.2023.1434.

15. Абд Алхади Х., Минин Ю.В. Функция принадлежности и оператор агрегирования в нечетких информационных системах принятия решений // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2023. № 7. С. 28–32. DOI: 10.25791/pribor.7.2023.1425.