

ПРИНЯТИЕ СЛАБОСТРУКТУРИРОВАННЫХ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧАХ СЕЛЕКЦИИ В НЕЧЕТКОЙ СРЕДЕ

Т. Ф. Бекмуратов, Р. А. Дадабаева*, Д. Т. Мухамедиева

Ташкентский университет информационных технологий,
100125, Ташкент, Узбекистан

*Ташкентский государственный экономический университет,
100003, Ташкент, Узбекистан

УДК 519.05

Рассматривается задача принятия слабоструктурированных решений при селекции — оценке и выборе наилучшей альтернативы (наилучшего объекта) по совокупности всех заданных признаков (критериев) в нечеткой среде в условиях многокритериальности и нечеткой недоминируемости альтернатив и критериев.

Приводится алгоритм решения задачи на примере выбора наилучшего сорта хлопчатника, обеспечивающего оптимальные значения агротехнологических параметров в различных условиях: посева, выращивания, вегетации и уборки.

Ключевые слова: принятие слабоструктурированных решений, селекция, нечеткая среда, альтернатива, исход, критерий эффективности, недоминируемое отношение предпочтений.

Considered the problem of semi-structured decision making in the selection — evaluating and selecting the best alternative (the best object) on the aggregate of all specified attributes (criteria) in fuzzy environment in conditions of multicriteria and fuzzy non-dominated alternatives and criteria. Listed algorithm of solving the task on the example of selecting the best varieties of cotton, which provides the optimal value of agrotechnological parameters in different conditions: planting, cultivation, growing and harvesting.

Key words: making of semi-structured decisions, selection, fuzzy environment, alternative, outcome, efficiency criterion, the ratio of non-dominated preferences.

Введение. Задача селекции, т. е. оценка качества альтернатив анализируемых объектов (информационно-коммуникационных систем, технико-технологических объектов, сортов сельскохозяйственных культур и т. д.) и выбор наилучшей альтернативы, во многих случаях решается в условиях информационных, процедурно-функциональных, параметрических и критериальных неопределенностей различного типа. Необходимость учета в процессе выбора оптимальных вариантов нескольких критериев, в том числе предпочтений лиц, принимающих решения (ЛПР), также характеризует одно из условий неопределенности [1].

К рассматриваемым неопределенностям относится, в частности, нечеткая (расплывчатая) неопределенность, характеризующаяся неполнотой, неточностью и лингвистической расплывчатостью (нечеткостью), присутствующей в исходной информации, критериях и оценках заказчиков и разработчиков, а также в используемых моделях и процедурах описания и оценки альтернатив анализируемых вариантов объектов. Этим обусловлена актуальность рассматриваемой в настоящей работе задачи разработки методов, моделей

и алгоритмов принятия слабоструктурированных решений (ПССР) в условиях нечеткой неопределенности [2, 3]. В таких задачах альтернативы принимаемых решений оцениваются на основе анализа мягких оценок показателей эффективности результатов реализации принимаемых решений (исходов) и значений рисков потерь, соответствующих тем или иным исходам. Теоретико-методологическим аппаратом решения таких задач являются средства интеллектуальной информационной технологии „SoftComputing“ („мягких вычислений“) [4–7].

В [3] рассмотрены многокритериальные задачи ПССР в условиях нечеткой среды, характеризующейся множеством нечетких критериев для оценок исходов альтернатив принимаемых решений. В качестве критериев в этой работе использованы нечеткие аналоги известных критериев: Байеса, дисперсии, Вальда, Гурвица и др.

На практике часто приходится решать задачи ПССР в условиях, когда не представляется возможным установить взаимные преимущества или важность анализируемых альтернатив решений и критериев их оценок по тем или иным показателям. В таких случаях актуальной является разработка методов и алгоритмов решения задачи ПССР в нечеткой среде на основе нечетких отношений недоминируемых предпочтений [8].

В настоящей статье рассматривается алгоритм решения задачи селекции в нечеткой среде, сводящейся к принятию решений по оценке и выбору наилучшей альтернативы (наилучшего объекта) по совокупности всех признаков (критериев) в условиях многокритериальности и нечеткой недоминируемости альтернатив и критериев.

Приводится иллюстрация реализации предложенного алгоритма на примере выбора селекционных сортов хлопчатника с наилучшими биологическими и технологическими показателями в условиях нечетко заданной исходной информации об условиях сева и выращивания (агротехнологических режимов, компонентов дозы внесения удобрений, полива, пограничных условий для данных сортов и типов почвы).

1. Постановка задачи. Приведем краткие определения основных понятий, используемых в описываемой ниже постановке задачи. *Альтернатива* — вариант возможных принимаемых решений. *Исход* — возможный результат реализации альтернативы. *Критерий эффективности* — мера оценки эффективности исходов и соответствующих им альтернатив. *Предпочтения ЛПР* — субъективные критерии, основанные на опыте и личной оценке ЛПР проблемной ситуации и среды принятия решений. *Нечеткое отношение предпочтений* — степень важности альтернатив (по соответствующим признакам) и критериев (признаков). *Нечеткое отношение недоминируемых предпочтений* — характеризует равную степень важности альтернатив и признаков. *Проблемная ситуация* — совокупность альтернатив, исходов и оценок показателей их эффективности. *Среда* — совокупность неопределенностей среды принятия решений. В данной задаче рассматривается нечеткая среда.

С учетом этих понятий постановку задачи ПССР сформулируем в следующем виде.

Заданы:

- множество альтернатив — $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$;
- наборы признаков, по которым производится выбор приемлемой альтернативы — $P = \{p_1, p_2, \dots, p_k\}$;
- степени нечеткого отношения предпочтения признаков Rp_j на множестве альтернатив, описываемые функциями принадлежности $\mu_{Rp_j}(x_i, x_l)$;
- степени важности признаков $p_j \in P$ в альтернативе $x_i \in X$, описываемые функциями принадлежности $\mu_{R_i}(p_j, p_l)$, $p_j, p_l \in P, j \neq l$;

— нечеткое отношение предпочтений R_j альтернатив (x_i, x_l) по признаку p_j .

Степени нечетких отношений недоминируемых предпочтений признаков в альтернативах и альтернатив по соответствующим признакам задаются экспертами.

Требуется при сформулированных условиях отношений нечеткого недоминирования альтернатив и признаков выбрать наиболее приемлемую альтернативу по совокупности всех признаков, т. е. решить многокритериальную задачу ПССР.

2. Алгоритм решения задачи. Принятие решений с использованием метода недоминируемых альтернатив сводится к определению рационального выбора альтернативы путем агрегирования нечеткой информации, характеризующей отношение между альтернативами по определенным критериям.

В процессе принятия решений ЛПР, принимая во внимание только признак p_1 и игнорируя остальные, для заданных множеств альтернатив $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ и признаков $P = \{p_1, p_2, \dots, p_k\}$ осуществляет построение R_1 -матрицы нестрогого предпочтения альтернатив, взятых из X :

$$R_1 = \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{matrix} \begin{bmatrix} \mu_{R_1}(x_1, x_1) & \mu_{R_1}(x_1, x_2) & \cdots & \mu_{R_1}(x_1, x_n) \\ \mu_{R_1}(x_2, x_1) & \mu_{R_1}(x_2, x_2) & \cdots & \mu_{R_1}(x_2, x_n) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \mu_{R_1}(x_n, x_1) & \mu_{R_1}(x_n, x_2) & \cdots & \mu_{R_1}(x_n, x_n) \end{bmatrix}.$$

Здесь значение, стоящее на пересечении первой строки и второго столбца, означает, что признак p_1 проявляется у первой альтернативы не хуже, чем у второй, с уверенностью $\mu_{R_1}(x_1, x_2)$. Аналогично ЛПР строит матрицу предпочтения R_2 с учетом только признака p_2 , и далее R_k — с учетом только признака p_k .

Предполагая, что рассматриваемые признаки имеют различную степень важности (т. е. одни из них могут быть наиболее существенными, а другие — второстепенными), важность признаков ЛПР характеризует с помощью другого нечеткого отношения предпочтения признаков:

$$R = \begin{matrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_k \end{matrix} \begin{bmatrix} \mu_R(p_1, p_1) & \mu_R(p_1, p_2) & \cdots & \mu_R(p_1, p_k) \\ \mu_R(p_2, p_1) & \mu_R(p_2, p_2) & \cdots & \mu_R(p_2, p_k) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \mu_R(p_k, p_1) & \mu_R(p_k, p_2) & \cdots & \mu_R(p_k, p_k) \end{bmatrix}.$$

Здесь значение, стоящее на пересечении первой строки и второго столбца, означает, что признак p_1 не важнее признака p_2 с уверенностью $\mu_R(p_1, p_2)$.

Ставится задача рационального выбора альтернативы из всего множества альтернатив $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, используя исходные данные, представленные в виде матрицы $R_1, \dots, R_k$ и R .

Достигается это при помощи следующего алгоритма:

1. Находится пересечение нечетких отношений $R_1, \dots, R_k$, которое обозначается как Q_1 :

$$Q_1 = R_1 \cap R_2 \cap \cdots \cap R_k.$$

2. Для Q_1 находится недоминируемое множество альтернатив Q_1 с использованием следующих процедур:

- а) определяется обратная матрица Q_1^{-1} :

$$\mu_{Q_1^{-1}}(x, y) = \mu_{Q_1}(y, x);$$

б) из каждого элемента матрицы Q_1^{-1} производится вычитание соответствующего элемента матрицы Q_1 . При этом, если результат является отрицательным числом, то он заменяется нулем. В результате получается матрица Q_1^0 :

$$\mu_{Q_1^0}(x, y) = \max(0, \mu_{Q_1^{-1}}(x, y) - \mu_{Q_1}(x, y));$$

в) в каждой строке матрицы Q_1^0 находится максимальное значение $r(x_i), i = 1, 2, \dots, n$. Затем полученные значения вычитаются из единицы. В результате вычисляются искомые степени функций принадлежности $\mu_{Q_1}(x_i)$ недоминируемых альтернатив:

$$\mu_{Q_1}(x_i) = 1 - r(x_i), i = 1, 2, \dots, n.$$

Таким образом, недоминируемое множество альтернатив Q_1 представляет собой совокупность элементов $x_1, x_2, \dots, x_n$, каждый из которых имеет свою степень принадлежности $\mu_{Q_1}(x_i)$. Это множество будем записывать в виде:

$$\mu_{Q_1}(x_i) = \left\{ \frac{\mu_{Q_1}(x_1)}{x_1}, \dots, \frac{\mu_{Q_1}(x_n)}{x_n} \right\}.$$

3. Аналогично для R находится недоминируемое множество R . Полученные степени принадлежности $\mu_R(p_1), \mu_R(p_2), \dots, \mu_R(p_k)$ обозначаются, соответственно, как $l_1, l_2, \dots, l_k$, и для каждого из признаков вычисляются весовые коэффициенты по формуле:

$$\lambda_i = \frac{l_i}{\sum_{j=1}^k l_j}, i = 1, 2, \dots, k.$$

4. Строится матрица Q_2 , элементы которой вычисляются по формуле:

$$\mu_{Q_2}(x, y) = \sum_{m=1}^k \lambda_m \mu_{R_m}(x, y).$$

5. Формируется недоминируемое множество альтернатив Q_2 по алгоритму, описанному выше в шаге 2:

$$\mu_{Q_2}(x_i) = \left\{ \frac{\mu_{Q_2}(x_1)}{x_1}, \dots, \frac{\mu_{Q_2}(x_n)}{x_n} \right\}.$$

6. Строится пересечение $Q = Q_1 \cap Q_2$:

$$Q = \left\{ \frac{\min(\mu_{Q_1}(x_1); \mu_{Q_2}(x_1))}{x_1}, \dots, \frac{\min(\mu_{Q_1}(x_n); \mu_{Q_2}(x_n))}{x_n} \right\}.$$

7. Выбор альтернативы, имеющей максимальное значение степени принадлежности в Q . Эта альтернатива считается рациональной.

3. Вычислительный эксперимент. Качество хлопчатника определяется рядом биологических и технологических характеристик волокна: длиной, метрическим номером, прочностью, разрывной длиной, зрелостью и другими. Они во многом зависят от особенностей сорта, его способности поглощать и использовать элементы питания на данном

типе почвы и т. д. Потребность селекционного сорта в питательных веществах определяется взаимодействием сорта и удобрений в среде „сорт–почва–удобрение“. Результат этого взаимодействия отражается не только на количестве урожая хлопка, но и на технологических свойствах волокна.

Многие исследователи изучали влияние удобрений на урожайность некоторых сортов хлопчатника. Однако эти исследования проводились лишь для одного типа почвы и одного сорта. Результаты таких исследований являются недостаточными для суждения об отзывчивости разных сортов хлопчатника на различные дозы и соотношения внесения удобрений по их урожайности в различных типах почвы. Дело в том, что каждый сорт по-своему реагирует на условия питания, которые образуются в конкретном типе почвы (в конкретной почвенной разности) после внесения удобрений в результате их специфического взаимодействия. Естественно, в каждом типе почвы создается своя среда „почва–удобрение“. Следовательно, об отзывчивости сортов хлопчатника на удобрение следует судить только применительно к конкретному типу почвы.

Исследование изменений технологических свойств волокна хлопчатника в зависимости от сорта, почвенных условий и удобрений позволяет определить оптимальные дозы внесения удобрений на той или иной почве, которые позволят получить для соответствующего сорта высокий урожай волокна с лучшими технологическими свойствами. В реальных условиях параметры режимов сева и агротехники возделывания хлопчатника задаются приблизительно (нечетко) по заключениям экспертов. Следует также заметить, что заданные исходные альтернативы селекционных сортов хлопчатника не являются явно доминируемыми ни по одному из показателей качества, как в отдельности, так и по их совокупности. Это обуславливает необходимость построения нечеткой математической модели, описывающей указанную зависимость между исследуемыми входными и выходными параметрами. Такая модель является основой для принятия решений по выбору наилучшего сорта в условиях нечеткой среды.

С учетом указанных специфических исходных условий требуется выбрать наиболее приемлемую альтернативу — сорт с наилучшими биологическими и технологическими показателями для заданных условий сева и выращивания (агротехнологических режимов, компонентов дозы внесения удобрений, полива) для заданных сортов и типов почвы.

Эксперимент проводился для задачи выбора нужного сорта хлопчатника из четырех селекционных сортов: С-4727, Ташкент 1, 108-Ф, 159-Ф (т. е. из множества альтернатив $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$), лучшего по пяти признакам $P = \{p_1, p_2, \dots, p_5\}$: урожайности, длине волокна, прочности волокна, абсолютной массе семян, масличности семян.

Алгоритм решения задачи.

1. Согласно предлагаемой схеме постановки и решения рассматриваемой задачи, нечеткая информация об исходных данных (условиях сева и выращивания) формируется на основе экспертных оценок, отображаемых конкретными значениями элементов соответствующих матриц. В систематизированном виде нечеткие исходные данные представляются в виде следующих матриц предпочтений $R_1, R_2, \dots, R_5$

$$R_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0,78 & 0,66 & 0,61 \\ 1 & 1 & 0,87 & 0,80 \\ 1 & 1 & 1 & 0,92 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad R_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0,99 & 0,98 \\ 0,98 & 1 & 0,98 & 0,97 \\ 1 & 1 & 1 & 0,99 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix},$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0,99 & 0,99 \\ 1 & 1 & 0,99 & 0,99 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad R_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0,96 & 0,95 \\ 0,98 & 1 & 0,94 & 0,93 \\ 1 & 1 & 1 & 0,99 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix},$$

$$R_5 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0,98 & 1 & 0,97 & 1 \\ 0,99 & 0,98 & 1 & 1 \\ 0,95 & 0,97 & 0,96 & 1 \end{bmatrix}.$$

2. Строятся матрицы предпочтений $R = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0,9 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0,9 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0,9 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0,9 & 1 \end{bmatrix}.$

3. Находится $Q_1 = R_1 \cap \dots \cap R_5$, строится обратная матрица Q_1^{-1} и вычисляется Q_1^0 :

$$Q_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0,66 & 0,61 \\ 0,98 & 1 & 0,87 & 0,80 \\ 0,99 & 0,98 & 1 & 0,92 \\ 0,95 & 0,97 & 0,96 & 1 \end{bmatrix}, \quad Q_1^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0,98 & 0,99 & 0,95 \\ 1 & 1 & 0,98 & 0,97 \\ 0,66 & 0,87 & 1 & 0,96 \\ 0,61 & 0,80 & 0,92 & 1 \end{bmatrix},$$

$$Q_1^0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0,33 & 0,34 \\ 0,02 & 0 & 0,11 & 0,17 \\ 0 & 0 & 0 & 0,04 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Находится матрица Q_1 :

$$Q_1 = [0,66 \quad 0,83 \quad 0,96 \quad 1].$$

4. По такой же схеме находится R и вычисляются весовые коэффициенты λ_i :

$$\lambda = [0,19 \quad 0,19 \quad 0,19 \quad 0,24 \quad 0,19].$$

5. Вычисляется Q_2 :

$$Q_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0,95 & 0,9 & 0,89 \\ 0,97 & 1 & 0,93 & 0,92 \\ 0,99 & 0,99 & 1 & 0,96 \\ 0,98 & 0,99 & 0,98 & 1 \end{bmatrix}.$$

6. Находится Q_2 :

$$Q_2 = [0,91 \quad 0,93 \quad 0,98 \quad 0,93].$$

7. Строится пересечение

$$Q = Q_1 \cap Q_2 :$$

$$Q = [0,66 \quad 0,83 \quad 0,96 \quad 0,93] .$$

Таким образом, результаты ранжирования всех селекционных сортов показали, что сорт 108-Ф (альтернатива x_3) является наилучшим среди предложенных селекционных сортов хлопчатника, поскольку результирующее значение степени принадлежности этого сорта нечеткому множеству Q является наибольшим (0,96).

Заключение. Предложенный нечетко-множественный алгоритм решения задач селекции может быть использован для многих прикладных задач ПССР по оценке и выбору приемлемых типов сложных систем различного назначения в нечеткой среде в условиях нечеткого недоминирования альтернатив и признаков.

Рассмотренный метод может рассматриваться как один из нечетко-множественных методов решения многокритериальных задач ПССР.

Список литературы

1. БЕКМУРАТОВ Т. Ф. Систематизация задач интеллектуальных систем поддержки принятия решений // Проблемы информатики и энергетики. 2003. № 4. С. 24–35.
2. БЕКМУРАТОВ Т. F. Poorly structured decision — making in problems of management of risks / 5-th World Conf. on Intelligent Systems for Industrial Automation. WCIS — 2008. Edited by N. R. Yusupbekov, W. Bonfig, R. A. Aliev. Quadrat Verlag, Tashkent. Nov. 25–27 2008. P. 96–106.
3. БЕКМУРАТОВ Т. Ф., ДАДАБАЕВА Р. А., МУХАМЕДИЕВА Д. Т. Принятие решений в нечеткой среде // Проблемы информатики. 2010. № 1. С. 52–61.
4. ЗАДЕ Л. А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений. Математика сегодня. М.: Знание, 1974. С. 5–49.
5. БЕЛЛМАН Р., ЗАДЕ Л. Принятие решений в расплывчатых условиях. Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М.: Мир, 1976. С. 172–215.
6. YAGER R. R., ZADEH L. A. (EDS.) Fuzzy sets, neural networks and Soft Computing. VAN Nostrand Reinhold. New York, 1994. P. 440.
7. АЛИЕВ Р. А., АЛИЕВ Р. А. Теория интеллектуальных систем и ее применение. Баку: Чашыоглы, 2001.
8. ОРЛОВСКИЙ С. А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. М.: Наука. 1981.

*Бекмуратов Тулкун Файзиевич — д-р техн. наук, проф., акад. АН РУз,
гл. науч. сотр. Центра разработки программных продуктов и
аппаратно-программных комплексов при Ташкентском университете
информационных технологий;
тел. (+99871) 262-71-53; e-mail: bek.tulkun@yandex.ru*
*Дадабаева Рано Акрамовна — канд. экономич. наук,
доц. Ташкентского гос. экон. университета;
тел. (+99871) 245-49-64; e-mail: ranodadabaeva@yandex.ru*
*Мухамедиева Дилноз Тулкуновна — д-р техн. наук,
ведущ. науч. сотр. Центра разработки программных продуктов
и аппаратно-программных комплексов при Ташкентском
университете информационных технологий;
тел. (+99871) 262-71-55; e-mail: dilnoz134@rambler.ru*

Дата поступления — 15.01.2015