

УДК: 519.95

## Принятие решений в нечеткой среде

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

Научно-исследовательский институт "Алгоритм-Инжиниринг" АН РУз, 100125, Ташкент, Узбекистан

\*Ташкентский государственный экономический университет, 100003, Ташкент, Узбекистан

\*\*Институт математики и информационных технологий АН РУз, 700143, Ташкент, Узбекистан

Рассмотрены модели статического и динамического процессов принятия решений в условиях неопределенности. Исследованы рекуррентные уравнения для динамических процессов принятия решений при нечетко заданной исходной информации.

**Ключевые слова:** принятие слабоструктурированных решений, проблемная ситуация, нечеткая среда, нечеткие множества, альтернатива, исход, оценочный функционал, модель, критерий эффективности, динамическая модель, рекуррентные уравнения.

The Considered models steady-state and dynamic process decision making in condition of the uncertainties. The Explored recurrence equations for dynamic processes decision making under fuzzy (ill-defined) given source information.

**Keywords:** poorly structured decision making, problem-solving situation, fuzzy environment (ambience), fuzzy sets, alternative, outcome (result), estimate function, model, criterion to efficiency, dynamic model, recurrence equations.

**Введение.** Большой класс сложных систем и процессов, к которым относятся и современные информационно-коммуникационные системы, характеризуется интегрированностью, многоуровневостью, распределенностью и многообразием показателей эффективности. В действительности проектирование таких систем, оценка качества их структурно-функциональных характеристик и управление происходящими в них процессами осуществляются в условиях информационных, процедурно-функциональных, параметрических и критериальных неопределенностей различного типа [1]. В частности, к таким неопределенностям относится 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 и их состояний. Необходимость учета в процессе выбора оптимальных вариантов нескольких критериев, в том числе предпочтений лиц, принимающих решения (ЛПР), также характеризует одно из условий неопределенности. Этим обусловлена целесообразность разработки и использования моделей и методов описания и оценки вариантов (альтернатив) анализируемых объектов, а также принятия решений (ПР) по выбору наилучшего варианта в условиях нечеткой неопределенности, которые представляют собой специальный класс задач ПР, получивших название неструктурированных или слабоструктурированных [2]. В таких задачах альтернативы принимаемых решений оцениваются на основе анализа мягких оценок показателей эффективности результатов реализации решений (исходов) и значений рисков потерь, соответствующих тем или иным исходам решений. Теоретико-методологическим аппаратом решения таких задач являются средства интеллектуальной информационной технологии "Soft Computing" – "Мягкие вычисления" [3-7].

В настоящей работе рассматриваются нечетко-множественные подходы к построению моделей описания и оценки альтернатив, а также задач принятия слабоструктурированных решений (ПССР) в условиях нечеткой неопределенности.

**1. Обобщенная модель постановки задачи ПССР.** Введем определения основных понятий, используемых в рассматриваемой задаче.

Альтернатива – один из вариантов множества возможных принимаемых решений. Исход – возможный результат реализации альтернативы, т. е. последствие (состояние объекта), наступающее в результате реализации принятого решения. Критерий и показатель эффективности – тип и характеристики меры, в соответствии с которой оценивается эффективность исходов и соответствующих им альтернатив. Предпочтения ЛПР – субъективные критерии, основанные на опыте и личной оценке ЛПР как внутренней, так и внешней текущей ситуации среды, в которой функционируют анализируемые объекты (системы и процессы различной природы). Проблемная ситуация – совокупность альтернатив, их исходов, т. е. состояний анализируемых объектов, а также соответствующих им типов и значений оценок показателей эффективности. Среда – совокупность типов неопределенностей, в условиях которых осуществляются оценка анализируемой проблемной ситуации и принятие решений. В настоящей работе рассматривается нечеткая среда.

Задача принятия решений формулируется следующим образом. Имеется множество вариантов решений (альтернатив), реализация которых приводит к наступлению некоторых исходов: одного – в условиях определенности, и нескольких возможных – в условиях неопределенности. Исход может характеризоваться, например, значением состояния, в которое перейдет объект в результате реализации данной альтернативы. Имеются далее показатели и критерии эффективности, а также, что важно, субъективные предпочтения ЛПР. Оценка исходов по выбранным критериям эффективности определяет степень предпочтительности соответствующих этим исходам альтернатив. Требуется построить стратегию выбора альтернативы, наилучшей в соответствии с критериями эффективности исходов и предпочтениями ЛПР.

*Формальная постановка задачи ПР в условиях определенности.* Заданы множества альтернатив (решений, действий)  $X = \{x_1, \dots, x_i, \dots, x_m\}$ , исходов альтернатив  $Y = \{y_1, \dots, y_i, \dots, y_m\}$  и показателей их эффективности  $W = \{w_1, \dots, w_i, \dots, w_m\}$ . Здесь имеют место отображения  $f: X \rightarrow Y$ ,  $\varphi: Y \rightarrow W$  и вытекающее из них отображение  $\psi: X \rightarrow W = f \circ \varphi$ , являющееся суперпозицией  $f$  и  $\varphi$ .

В реальных условиях альтернативы и их исходы оцениваются несколькими показателями (критериями) эффективности  $\varphi_k: Y \rightarrow W$ ,  $k = 1, \dots, l$ . Частные критерии  $\varphi_k$  обычно бывают противоречивыми и часто несравнимыми. При таких исходных условиях требуется выбрать из множества допустимых наилучший вариант альтернативы  $x_{i_0}$ , обеспечивающий наиболее приемлемое, в некотором смысле, значение показателя эффективности  $w_i$  соответствующих им исходов  $y_i$ , т. е.

$$x_{i_0} = \arg \text{extr } w_i, x_i \in X, y_i \in Y,$$

(extr интерпретируется как наилучший).

Выбор  $x_i \in X$  в условиях неопределенности в целях, критериях, моделях ситуации, методах решения является задачей принятия неструктурированных или слабоструктурированных решений.

Для описания и оценки вариантов проблемных ситуаций анализируемых объектов, порождаемых в результате реализации соответствующих альтернатив в условиях неопределенности (нечеткой среды), а также выбора из них наиболее приемлемой по заданным критериям эффективности задачу ПССР приведенного типа целесообразно представить многокритериальной моделью ПР [2, 8] в виде набора

$$\langle T, D, W, \Theta(X), P, \Phi, F \rangle, \quad (1)$$

где  $T$  – тип задачи ПР, определяемый целевой функцией и ограничениями;  $D = \{d_1, \dots, d_i, \dots, d_m\}$  – множество альтернатив решений;  $W = W(q(d), c(d), t(d)) = \{w_{ji}\}$  – вектор оценок эффективности исходов альтернатив  $D$  по различным показателям, например по полезному эффекту  $q(d)$ , затратам энергии  $c(d)$  и времени  $t(d)$ ;  $\Theta(X)$  – множество состояний (исходов), описываемых параметрами  $X$  исследуемого объекта;  $P$  – распределение вероятностей наступления исходов;  $\Phi$  – система предпочтений ЛПР;  $F$  – правила формирования альтернатив.

В условиях нечеткой среды каждой альтернативе могут соответствовать несколько исходов, имеющих нечеткие оценки. Рассматривается проблемная ситуация с одинаковым числом возможных исходов для всех альтернатив. Обобщенный показатель эффективности  $w_{ji} \in W$  исходов альтернатив  $D$ , как правило, представляет собой вектор нескольких частных показателей. Конкретные значения оценок эффективности альтернатив определяются как значениями самих альтернатив, так и текущими значениями проблемной ситуации. Поэтому значения количественных оценок  $w_{ji} \in W$  исходов  $\theta_j \in \Theta$  альтернатив  $d_i \in D$  представляются матрицей  $W = \|w_{ji} = w(\theta_j, d_i)\|$  в виде

$$\begin{array}{cccccc}
 & d_1 & \dots & d_i & \dots & d_m \\
 \theta_1 & w_{11} & \dots & w_{1i} & \dots & w_{1m} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \theta_j & w_{j1} & \dots & w_{ji} & \dots & w_{jm} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \theta_n & w_{n1} & \dots & w_{ni} & \dots & w_{nm}
 \end{array} \quad (2)$$

Матрица (2) характеризует в развернутой форме ситуацию ПССР. В этом случае проблемная ситуация в модели (1) представляется набором

$$\{D, W, A_{\ominus}\}, \quad (3)$$

где  $D = \{d_1, \dots, d_i, \dots, d_m\}$  – множество решений (альтернатив);  $\Theta = \{\theta_1, \dots, \theta_n\}$  – множество значений возможных состояний (исходов), в одно из которых может перейти проблемная ситуация при реализации альтернативы  $d_i \in D$ ;  $W = \{w_{ji}\}$  – матрица оценочного функционала, определенная на  $\Theta \times D$ , элементы которой  $w_{ji} = w(\theta_j, d_i)$  принимают значения из  $R^1$ ;  $A_{\ominus}$  – нечеткое множество оценок  $A = \{w_{ji}\}$  на элементах  $\Theta \times D$ , которое определяется заданием отображения  $\mu_{ji} = \mu_{A_{\ominus}}(w_{ji})$  значений элементов  $w_{ji}$  в интервале  $[0,1]$ , т. е.  $A_{\ominus}$  отражает совокупность нечетких оценок показателей эффективности (ОПЭ) состояний  $\theta_j \in \Theta$  проблемной ситуации, наступивших в результате реализации  $d_i$ .

Нечеткие оценки показателей эффективности, как правило, задаются нечеткими числами, такими как "около  $n$ ", "приблизительно  $n$ ", "чуть больше  $n$ ", "немного меньше  $n$ " и т. д. В ряде случаев могут использоваться сложные нечеткие оценки, состоящие из нескольких простых, связанных логическими связками И, ИЛИ, НЕ. Нечеткие числа отображают качественные оценки типа "низкая", "высокая", "средняя" и др. Между указанными оценками могут быть и промежуточные. Число таких оценок определяется типом используемой шкалы оценок (двухуровневая, трехуровневая, пятиуровневая и др.), определяемой, в свою очередь, числом выбранных альтернатив, спецификой предметной области, типами критериев и показателей эффективности. Совокупность значений таких оценок – нечетких чисел – образует терм-множество  $A = \{A_i\} (i = 1, 2, \dots, m)$  лингвистической переменной (ЛП) "ОПЭ" (здесь  $m$  – число уровней используемой шкалы, которое обычно выбирается равным числу альтернатив). Каждый из этих термов представляется нечетким множеством (НМ)

$$A_i = \mu_{A_i}(x_k) / x_k,$$

где  $x_k \in X (k = 1, 2, \dots, K)$  – элементы базового множества  $X$ , отображающие возможные численные значения нечеткой оценки (терма  $A_i \subset A$ ) показателя эффективности (ПЭ)  $w_{ji} \in W$ ;  $\mu_{A_i}(x_k)$  – функция принадлежности (ФП) элемента  $x_k \in X$  НМ терму  $A_i \subset A$ .

При заданной ситуации  $\{D, W, A_{\ominus}\}$  проблема принятия многоцелевых решений в нечеткой среде сводится к выбору ЛПР одного решения, наилучшего и наиболее приемлемого по выбранному им критерию.

С учетом приведенных выше определений элементов моделей (1)–(3) в общем виде задачу ПССР можно сформулировать следующим образом [2].

Заданы: множества альтернатив  $D = \{d_i\}$ , состояний среды (исходов)  $\Theta = \{\theta_j\}$  и показателей их эффективности  $W(\Theta, D) = \{w_{ji} = w(\theta_j, d_i)\} (j = \overline{1, n}, i = \overline{1, m})$ ; нечеткое множество  $A_{\ominus}$  оценок  $w_{ji} = w(\theta_j, d_i)$ ;  $P$  – распределение вероятностей наступления возможных исходов  $\Theta = \{\theta_j\}$  для каждой альтернативы;  $\Phi$  – система предпочтений ЛПР;  $F$  – правила формирования альтернатив.

Требуется: выбрать наилучший вариант

$$d_{i_0} = \arg \text{extr}(w_{ji} = w(\theta_j, d_i)), d_i \in D, \theta_j \in \Theta. \quad (4)$$

Здесь под значением  $\text{extg}$  понимается наилучшее значение, в наибольшей степени удовлетворяющее как выбранным критериям, так и предпочтениям ЛПР. При этом оценочный функционал  $W$  будет иметь положительный ингредиент, если ЛПР выбирает наилучшую альтернативу, исходя из условия  $\max\{w(\theta_j, d_i)\}, d_i \in D, \theta_j \in \Theta$ . В противном случае ингредиент отрицательный. Положительный ингредиент для оценочного функционала используется для выражения категорий полезности, выигрыша, эффективности, вероятностей достижения целевых событий и т. д., отрицательный ингредиент – для выражения потерь, проигрыша, сожалений, ущерба, риска и т. д.

Оценки вектора показателей эффективности принимаемых решений и состояний среды могут иметь как количественные, так и качественные (нечеткие) значения. Конкретный вид элементов целевой функции, а также учет всех или отдельных факторов нахождения наилучшего значения  $w_{ji} = w(\theta_j, d_i) \in W(\Theta, D)$  определяют выбор соответствующих методов решения, что приводит к большому многообразию задач ПССР в нечеткой среде, т. е. в условиях нечеткой неопределенности в целях, критериях, моделях ситуации и методах решения. При этом в исходных условиях проблемной ситуации в изложенной постановке задачи ПССР в нечеткой среде следует учитывать наличие следующих допущений.

1. Множество альтернатив (решений), которые можно реализовать с целью перевода объекта (процесса) из текущей ситуации (состояния)  $\theta_j \in \Theta$  ( $j = \overline{1, n}$ ) в требуемую ситуацию из заданного множества ситуаций, задается конечным и фиксированным в виде  $D = \{d_i\}, i = \overline{1, m}$ .

2. Множество возможных состояний (ситуаций), в одно из которых может перейти объект (процесс) в результате реализации любой альтернативы  $d_i \in D, i = \overline{1, m}$ , т. е. множество возможных исходов альтернатив, также задается конечным и фиксированным в виде  $\Theta = \{\theta_j\}, j = \overline{1, n}$ .

3. Множество возможных значений аксиологических вероятностей наступления исходов  $\theta_j \in \Theta$  ( $j = \overline{1, n}$ ) формируется заранее на основе экспертных заключений для рассматриваемой предметной области и задается матрицей вида  $\bar{P} = \|\bar{p}_{ji}\|, j = \overline{1, n}, i = \overline{1, m}$ .

4. Множество значений оценок ПЭ  $w_{ji} = w(\theta_j, d_i)$  анализируемых исходов соответствующих альтернатив формируется также заранее на основе соответствующих расчетов (по моделям и выражениям, описывающим зависимости между количественными и (или) качественными параметрами состояний (ситуаций) и выбранными, определенными по соглашению исходя из соответствующих целей и предпочтений, критериями эффективности). В случае отсутствия и (или) в силу каких-либо причин невозможности построения таких моделей и выражений искомое множество оценок ПЭ формируется на основе экспертных заключений в виде лингвистических переменных с соответствующим терм-множеством, отображающим совокупность возможных нечетких оценок ПЭ.

**2. Метод решения задачи ПССР.** Решение задачи (4) с использованием моделей (1)–(3) осуществляется в несколько этапов (рисунок). На первом этапе формулируется постановка задачи: цели, критерии, ограничения и предпочтения ЛПР. На втором этапе определяются правила, на основе которых формируется множество возможных для рассматриваемой ситуации вариантов альтернатив ре-



Рисунок. Этапы решения задачи ПССР

шений и соответствующих им исходов. На третьем этапе осуществляется оценка исходов альтернатив по каждому из выбранных критериев. На четвертом этапе строится (или выбирается) решающее правило – стратегия определения и выбора наилучшей альтернативы в соответствии с критериями и предпочтениями ЛПР. На основе этой стратегии формируется упорядоченное множество допустимых альтернатив – предпочтительных из возможных для текущей ситуации. Анализ допустимых альтернатив определяет, получено ли требуемое упорядочение альтернатив. Если не получено, то возвращаются к предыдущим этапам для осуществления соответствующих уточнений и корректировок параметров построенных моделей и правил исходной задачи. Если требуемое упорядочение получено, то из него ЛПР выбирает наилучшее решение с учетом личных предпочтений.

Во многих задачах ПР в нечеткой среде результат выбора той или иной альтернативы в качестве решения оценивается нечетким числом. Для  $m$  альтернатив формируется  $m$  базовых нечетких чисел-оценок. При наличии  $n$  возможных исходов каждой альтернативы образуется  $mn$  нечетких чисел-оценок. При этом количество их значений равно количеству базовых чисел-оценок ( $m$ ). Для решения таких задач предлагаются модифицированные – нечеткие аналоги известных критериев, например байесовского и дисперсии.

Если на множестве  $\Theta = \{\theta_j\}$  задан вектор  $\mathbf{P} = (\mathbf{p}_1, \dots, \mathbf{p}_n)$  распределения вероятностей, то для формирования оценочного функционала  $W(\Theta, D) = \{w_{ji} = w(\theta_j, d_i)\}$  и выбора наилучшего из них в условиях стохастической среды используют классический критерий Байеса, имеющий вид

$$B = \text{extr}_{d_i \in D} \left[ \sum_{j=1}^n p_j w_{ji} \right]. \quad (5)$$

В зависимости от значения ингредиента используемого функционала  $W$  (положительного или отрицательного) ищется максимум или минимум критерия (5).

В условиях нечеткой среды задаются вектор  $\bar{P} = (\bar{p}_1, \dots, \bar{p}_n)$  распределения аксиологических вероятностей и вектор  $M = (\mu_1, \dots, \mu_m)$  функций принадлежности значений оценок ПЭ нечетким числам-оценкам (термам  $A_i \subset A$ ) на множестве  $\Theta \times D$ . В этом случае оценочный функционал  $w_{ji} = w(\theta_j, d_i)$  преобразуется к виду  $w_{ji} = w(\bar{p}_j(\theta_j(d_i)), \mu_{ji}(w_{ji}^s))$ . Тогда стратегия статического принятия решений осуществляется в соответствии с нечеткими аналогами соответствующих классических критериев: Байеса, дисперсии, Вальда, Гурвица и др.

Предлагаемый нечеткий аналог критерия Байеса в случае положительного ингредиента оценочного функционала описывается выражениями [2, 9]

$$B(\bar{p}, \mu, d_{i_0}) = \max_{d_i \in D} B(\bar{p}, \mu, d_i), \quad (6)$$

где

$$B(\bar{p}, \mu, d_i) = \sum_{j=1}^n \bar{p}_j \sum_{s=1}^k \mu_{ji}^s w_{ji}^s / \sum_{j=1}^n \bar{p}_j \mu_j, \\ \mu_j = \sum_{s=1}^k \mu_{ji}^s,$$

$w_{ji}^s = w^s(\theta_j, d_i)$  – дискретные значения элементов  $w_{ji}$  матрицы  $W(\Theta, D) = \{w_{ji} = w(\theta_j, d_i)\}$  оценочного функционала, входящие в множество соответствующих нечетких чисел-оценок и принимающих значения из  $R^1$  с соответствующими ФП  $\mu_{ji}^s = \mu_{A_i}(w_{ji}^s)$ ;  $s = \overline{1, k}$  – область задания дискретных значений, составляющих базовое множество нечетких чисел-оценок  $w_{ji}^s$  – соответствующих нечетких терм-множеств ЛП "ОПЭ". Последняя может характеризоваться, например, качественными оценками – нечеткими термами "высокий", "средний", "низкий", которые, в свою очередь, могут отображаться соответствующими нечеткими числами: "приблизительно 1", "приблизительно 3", "приблизительно 5".

Нечеткий аналог критерия типа дисперсии значений оценочного функционала  $W$  представляется в виде

$$\sigma^2(\bar{p}, \mu, d_{i_0}) = \min_{d_k \in D} \sigma^2(\bar{p}, \mu, d_i), \quad (7)$$

где

$$\sigma^2(\bar{p}, \mu, d_i) = \sum_{j=1}^n \left[ \frac{\sum_{s=1}^k \bar{p}_j \mu_{ji}^s w_{ji}^s}{\sum_{j=1}^n [\mu_j \bar{p}_j - B(\mu, \bar{p}, d_i)]^2} \bar{p}_j \right],$$

$\mu_j$  и  $B(\bar{p}, \mu, d_i)$  определяются в соответствии с выражениями (6).

В более общем виде нечеткая среда характеризуется также нечеткой (качественной) оценкой состояний  $\theta_j \in \Theta$ . В этом случае при вычислении соответствующих критериев следует учитывать выражения нечетких множеств, которыми отображаются оценки состояний.

**3. Динамические модели процессов принятия решений.** В настоящее время в основном рассматриваются статические модели, результаты которых являются начальным этапом детализации оценок проблемных ситуаций и критериев принятия решений. В различных ситуационных условиях целесообразно использование динамических (многошаговых) моделей процессов принятия решений [9, 10].

Рассмотрим динамический  $N$ -этапный процесс функционирования управляемого объекта. Будем полагать, что на каждом этапе  $l$  ( $1 \leq l \leq N$ ) органу управления известно следующее.

1. Множество  $A^l = \{a_1^l, \dots, a_m^l\}$  возможных состояний объекта, в одно из которых может переходить объект из любого состояния на предыдущем  $(l-1)$ -м этапе.

2. Множество  $D^l = \{d_1^l, \dots, d_m^l\}$  решений, которые может принять орган управления, где под  $d_k^l$  понимается решение органа управления на  $l$ -м этапе о переводе объекта в состояние  $a_k^l$ , причем на  $l$ -м этапе орган управления может принять только одно решение из множества  $D^l$ .

3. Множество  $\theta^l = \{\theta_1^l, \dots, \theta_m^l\}$  характеристик возможных состояний среды на  $l$ -м этапе.

4. Априорное распределение  $p^l = (p_1^l, \dots, p_{n_l}^l)$  состояний среды на множестве  $\Theta^l$ , т. е.  $\mathbf{p}_j^l = \mathbf{P}\{\theta^l = \theta_j^l\}$ .

5. Матрица

$$W(a_v^{i-1}) = \left\{ f_{jk}^i(a_v^{i-1}) \right\}_{j,k=1}^{n,m}$$

( $f_{jk}^i(a_v^{i-1}) = \sum_{s=1}^k \mu_{jk}^s w_{jk}^s(a_v^{i-1}) / \sum_{j=1}^n \mu_j$ ,  $\mu_j = \sum_{s=1}^k \mu_{ji}^s$ ) значений оценочного функционала  $W$  для всех возможных состояний  $a_v^{i-1} \in A^{i-1}$ .

6. Условное распределение вероятностей  $g_r^i(a_v^{i-1}, d_k^i) = P\{a_v^{i-1} \rightarrow a_r^i \mid d^i = d_k^i\}$  перехода объекта в состояние  $a_v^{i-1} \in A^i$  из состояния  $a_v^{i-1} \in A^{i-1}$ , если принято решение  $d_k^i \in D^i$ .

Для органа управления цель динамического процесса принятия решений состоит в переводе управляемого объекта из данного начального состояния  $a^0$  в заданное множество конечных состояний  $\{a^N\}$  посредством выбора органом управления последовательности оптимальных решений в соответствии с принятыми критериями.

Согласно критерию типа Байеса оптимальная стратегия динамического процесса принятия решений  $\{d_{k_l^0}^l(a_r^{l-1})\}_{l=1}^{m_l-1}$  может быть последовательно найдена для  $l=N, N-1, \dots, 2, 1$  из условий

$$f_l(d_{k_l^0}^l(a_r^{l-1}), a_r^{l-1}) = \min_{d_k^l \in D^l} f_l(d_k^l(a_r^{l-1}), a_r^{l-1}).$$

При этом значения  $f_l(d_k^l(a_r^{l-1}), a_r^{l-1})$  удовлетворяют следующим рекуррентным уравнениям:

$$f_N(d_{k_N^0}^N(a_r^{N-1}), a_r^{N-1}) = \min_{\phi^{N_k} \in \Phi^N} B^N(d_k^N, a_r^{N-1}), \quad f_1(d_{k_1^0}^1(a_r^{l-1}), a_r^{l-1}) = \min_{d_k^1 \in D^1} [B^1(d_k^1, a_r^{l-1}) +$$

$$+ \sum_{\eta=1}^{m_1} f_{l+1}(d_{k_{l+1}^0}^{l+1}(a_{\eta}^l), a_{\eta}^l) g_{\eta}^l(a_r^{l-1}, d_k^1)]. \quad (8)$$

Здесь

$$B^l(d_k^l, a_r^{l-1}) = \sum_{j=1}^{n_l} p_j^l f_{jk}^l(a_r^{l-1}),$$

$$f_{jk}^i(a_r^{i-1}) = \sum_{s=1}^k \mu_{jk}^s w_{jk}^s(a_r^{i-1}) / \sum_{j=1}^n \mu_j,$$

$$\mu_j = \sum_{s=1}^k \mu_{ji}^s.$$

Для критерия типа Вальда рекуррентные уравнения для нахождения оптимальных стратегий динамического процесса принятия решений имеют вид

$$f_N^0(d_{k_N^0}^N(a_r^{N-1}), a_r^{N-1}) = \min_{d_k^N \in \Phi^N} \max_{j=1, \dots, n_N} f_{jk}^N(a_r^{N-1}), \quad (9)$$

$$f_l^0(d_{k_l^0}^l(a_r^{l-1}), a_r^{l-1}) = \min_{d_k^l \in D^l} \max_{j=1, \dots, n_l} f_{jk}^l(a_r^{l-1}) + \sum_{\eta=1}^{m_l} f_{l+1}^0(d_{k_{l+1}^0}^{l+1}(a_{r_l}^l), a_{r_l}^l) g_{r_l}^l(a_r^{l-1}, d_k^l),$$

$$l=N, N-1, \dots, 2, 1,$$

где

$$f_{jk}^i(a_r^{i-1}) = \sum_{s=1}^k \mu_{jk}^s w_{jk}^s(a_r^{i-1}) / \sum_{j=1}^n \mu_j,$$

$$\mu_j = \sum_{s=1}^k \mu_{ji}^s.$$

Для критерия типа Гурвица оптимальная стратегия динамического процесса принятия решений

$$D_0^l = \{d_{k_l^0}^l(a_r^{l-1})\}_{r=1}^{m_{l-1}}, l=1, \dots, N$$

находится при решении рекуррентных уравнений вида

$$f_{N^N}^{\lambda}(d_{k_N^0}^N(a_r^{N-1}), a_r^{N-1}) = \min_{d_k^N \in D^N} [\lambda_N \min_{j=1, \dots, n_N} f_{jk}^N(a_r^{N-1}) + (1 + \lambda_N) \max_{j=1, \dots, n_N} f_{jk}^N(a_r^{N-1})],$$

$$f_{l^l}^{\lambda}(d_{k_l^0}^l(a_r^{l-1}), a_r^{l-1}) = \min_{d_k^l \in D^l} [\lambda_l \min_{j=1, \dots, n_l} f_{jk}^l(a_r^{l-1}) + (1 + \lambda_l) \max_{j=1, \dots, n_l} f_{jk}^l(a_r^{l-1}) +$$

$$+ \sum_{\eta=1}^{m_l} f_{l+1}^{\lambda_{l+1}}(d_{k_{l+1}^0}^{l+1}(a_{r_l}^l), a_{r_l}^l) g_{r_l}^l(a_r^{l-1}, d_k^l)],$$

где

$$f_{jk}^i(a_r^{i-1}) = \sum_{s=1}^k \mu_{jk}^s w_{jk}^s(a_r^{i-1}) / \sum_{j=1}^n \mu_j,$$

$$\mu_j = \sum_{s=1}^k \mu_{ji}^s.$$

**4. Вычислительный эксперимент.** Проведен вычислительный эксперимент по решению задач нечеткой модели принятия решений на примере оценки селекционных сортов хлопчатника в соответствии со специализацией отрасли, природными и экономическими особенностями отдельных регионов.

Качество хлопчатника определяется рядом биологических и технологических характеристик. Требуется выявить селекционные сорта хлопчатника с наилучшими биологическими и технологическими показателями, такими как урожайность, длина волокна, прочность волокна, абсолютная масса семян, масличность семян. При этом важ-

но проводить оценку сортов для различных типов почв с различными агротехническими технологиями возделывания.

Ниже приведены результаты оценки четырех сортов хлопчатника для трех типов почв с различными режимами внесения в них удобрений. Это обусловлено тем, что каждый сорт по-своему реагирует на условия питания, которые создаются в конкретном типе почвы после внесения удобрений в результате их специфического взаимодействия. Каждая почва создает свою систему почва – удобрение, поэтому отзывчивость сортов хлопчатника на удобрение можно оценивать только для каждой конкретной почвы.

В практических задачах управления урожайностью, особенно в ходе сопоставительного анализа экономических показателей, очень важно проводить не только качественные оценки уровня факторов (например, "низкий" – "средний" – "высокий"), но и сравнительную оценку уровня фактора для конкретной почвы (например, "намного ниже" – "ниже" – "на уровне" – "выше" – "намного выше"). Поэтому был выбран семиуровневый классификатор для качественной оценки уровня фона питания почв, характеризуемого количеством входящих в удобрение химических компонентов (соединений азота, фосфора и калия):

ОН: очень низкий уровень – без удобрений;

Н: низкий уровень: N-200; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 140; K<sub>2</sub>O – 100;

НС: уровень ниже среднего: N-200; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 200; K<sub>2</sub>O – 100;

С: средний уровень: N-250; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 175; K<sub>2</sub>O – 125;

ВС: уровень выше среднего: N-250; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 250; K<sub>2</sub>O – 150;

В: высокий уровень: N-300; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 210; K<sub>2</sub>O – 125;

ОВ: очень высокий: N-300; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 300; K<sub>2</sub>O – 150.

В таблице приведены результаты использования динамической модели принятия решений по оценке четырех сортов хлопчатника, предназначенных для выращивания в трех типах почв с различным фоном питания (здесь ОТС – орошаемый типичный серозем; ОСЛП – орошаемая сероземно-луговая почва; НСС – новоорошаемый светлый серозем; С-4727, 108-Ф, Ташкент 1, 159-Ф – сорта хлопчатника). Оценка сортов производилась по следующим характеристикам: урожайность, длина волокна, прочность волокна, абсолютная масса семян, масличность семян.

Согласно формулам (8)–(10), проведя ранжирование всех селекционных сортов, определили, что в условиях орошаемого типичного серозема более отзывчивым на удобрение и урожайным является сорт 108-Ф, на орошаемой сероземно-луговой почве – сорт С-4727, новоорошаемом светлом сероземе – также 108-Ф.

**Заключение.** Анализ и проектирование сложных процессов и систем, а также управление ими в реальных условиях, как правило, происходит при наличии нестохастических неопределенностей, имеющих нечеткий, расплывчатый характер. Типичными неопределенностями, которые присутствуют в процессе оценки вариантов их структурно-функциональных характеристик, являются нечеткие, расплывчатые неопределенности, например неполнота и нечеткость многих исходных данных, качественный и субъективный характер критериев оценок, эвристическая природа – нечеткость исходных моделей проектируемых систем и процессов, обуславливающих применение мягких процедур для анализа, прогнозирования, оценки, выбора и принятия решений. В этих случаях классические статистические методы исследования операций не обеспечива-

Результаты оценки четырех сортов хлопчатника

Наименование альтернативы	Критерий типа Байеса	Критерий типа Вальда	Критерий типа Гурвица
ОТС С-4727	0,23	0,28	0,29
ОТС Ташкент 1	0,23	0,21	0,28
ОТС 108-Ф	0,23	0,27	0,29
ОТС 159-Ф	0,23	0,26	0,28
ОСЛП С-4727	0,24	0,29	0,30
ОСЛП Ташкент 1	0,23	0,29	0,29
ОСЛП 108-Ф	0,23	0,28	0,29
ОСЛП 159-Ф	0,23	0,28	0,29
НСС С-4727	0,23	0,24	0,27
НСС Ташкент 1	0,23	0,28	0,30
НСС 108-Ф	0,23	0,28	0,30
НСС 159-Ф	0,23	0,27	0,28

ют нахождения и принятия корректных решений. Для развития этих методов перспективным является использование интеллектуальных информационных технологий "мягких вычислений", основанных на применении нечетко-множественных подходов. Предложенные нечеткие аналоги классических критериев Байеса, Вальда, Гурвица и дисперсии позволяют эффективно решать определенный класс задач ПССР статического и динамического типов.

Перспективным направлением исследований по рассматриваемой проблематике является разработка методов решения задач ПССР с использованием комбинации средств "Soft Computing"-технологии: нечетких множеств, нейронных сетей, генетических алгоритмов, эволюционного моделирования и программирования.

#### 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. Ф. Poorly structured decision – making in problems of management of risks // Proc. of the 5th World conf. on intelligent systems for industrial automation, Tashkent (Uzbekistan), Nov. 25–27, 2008. Tashkent: b-Quadrat Verlag, 2008. P. 96–106.
3. ЗАДЕ Л. А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений // Математика сегодня. М.: Знание, 1974. С. 5–49.
4. БЕЛЛМАН Р., ЗАДЕ Л. Принятие решений в расплывчатых условиях // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М.: Мир, 1976. С. 172–215.
5. YAGER R. R., ZADEH L. A. (Eds.) Fuzzy sets, neural networks and Soft Computing // VAN Nostrand Reinhold. New York. 1994. P. 440.
6. АЛИЕВ Р. А. Теория интеллектуальных систем и ее применение / Р. А. Алиев, Р. Р. Алиев. Баку: Чашыоглы, 2001.
7. БОРИСОВ А. Н. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений / А. Н. Борисов, А. В. Алексеев, Г. В. Меркурьев. М.: Радио и связь, 1989.
8. БЕКМУРАТОВ Т. Ф., МУХАМЕДИЕВА Д. Т. Decision-making problem in poorly formalized processes // Proc. of the 5th World conf. on intelligent systems for industrial automation, Tashkent (Uzbekistan), Nov. 25–27, 2008. Tashkent: b-Quadrat Verlag, 2008. P. 214–218.
9. ПРИКЛАДНЫЕ методы исследования процессов принятия решений / Под ред. Р. И. Трухаева. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976.
10. ЗОРКАЛЬЦЕВ В. И. Равновесные модели в экономике и энергетике / В. И. Зоркальцев, О. В. Хамисов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2006.

*Бекмуратов Тулкун Файзиевич – д-р техн. наук, проф., акад. АН Республики Узбекистан,  
гл. науч. сотр. ин-та "Алгоритм-Инжиниринг" АН РУз;  
проф. Ташкентского ун-та информационных технологий;  
тел. (99871) 2-627-153; e-mail; bek.tulkun@mail.ru*

*Дадабаева Рано Акромовна – доц. Ташкентского гос. экон. ун-та;  
тел. (99871) 2-454-964; e-mail; ranodadabaeva45@mail.ru*

*Мухамедиева Дильноз Тулкуновна – д-р техн. наук, вед. науч. сотр.  
Ин-та математики и информационных технологий АН РУз*

Дата поступления – 29.10.2009 г.