

УДК 629.01; 004.8

С.Г. Черный, В.А. Доровской

## МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ НЕЧЕТКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДИАГНОСТИКИ МОРСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

**Черный Сергей Григорьевич**, кандидат технических наук, окончил Херсонский национальный технический университет. Доцент кафедры «Электрооборудование судов и автоматизация производства» Керченского государственного морского технологического университета. Имеет публикации в сфере экспертных систем. [e-mail: sergiiblack@gmail.com].

**Доровской Владимир Алексеевич**, доктор технических наук, окончил Криворожский горный университет. Профессор кафедры «Электрооборудование судов и автоматизация производства» Керченского государственного морского технологического университета. Имеет более 100 статей, 5 монографий. [e-mail: dora1943@mail.ru].

### Аннотация

Изложены принципы оптимизации нечетких процессов в принятии решений диагностики оборудования при добыче полезных ископаемых со дна моря. Разработаны модели оптимизации многокритериальных задач принятия решений с нечеткими целями, которые описаны следующими элементами: множеством допустимых альтернатив; множеством всех возможных результатов, оценок альтернатив; функцией критерия, устанавливающей связь между альтернативами и их оценками; функциями принадлежности. Приведены правила для единообразного управления всеми метаданными по источникам данных, целевым схемам, манипулированиям, скриптам и т. д., которые используют репозиторий на основе систем управления базами данных. Приведены интегрированные данные анализа процесса на примере таблиц данных. Представлена модель показателей и факторов в виде визуализированного образа, спроектированного в Curve Fitting Toolbox. Представлены способы выделения частных критериев отдельных подсистем, которые позволяют учитывать, с необходимой степенью детализации, характер взаимосвязей и взаимодействий отдельных параметров детализации, характер взаимосвязей и взаимодействий отдельных параметров системы управления сложной глубоководной системы.

Ключевые слова: оптимизация, принятие решений, диагностика, полезные ископаемые, многокритериальность.

## THE OPTIMIZATION MODEL OF DECISION-MAKING FUZZY PROCESSES FOR MARITIME EQUIPMENT DIAGNOSTICS

**Sergey Grigorevich Cherny**, Candidate of Engineering; graduated from Kherson National Technical University; Assistant Professor at the Department of Electrical Equipment of Ships and Industrial Automation of Kerch State Marine Technological University; an author of publications in the field of expert systems. e-mail: sergiiblack@gmail.com.

**Vladimir Alekseevich Dorovskoy**, Doctor of Engineering; graduated from Kryvyi Rih Mining University; Professor at the Department of Electrical Equipment of Ships and Industrial Automation of Kerch State Marine Technological University; an author of more than 100 articles and 5 monographs. e-mail: dora1943@mail.ru.

### Abstract

The article presents principles of fuzzy processes optimization of decision-making for sea-bed mining equipment diagnostic tests. There were developed models for the optimization of multicriteria problems in decision-making with fuzzy objectives which are described by means of the following elements: set of admissible alternates, set of all possible results, alternative evaluation, a criterion function, establishing the connection with alternatives and their evaluations, membership functions. Some rules for the uniform management of all metadata on data sources, target schemas, manipulation, scripts, etc. are provided, that use repository-based database management systems. The integrated data of procedure analysis are demonstrated by the example of the data tables. The model of indicators and factors in the form of a visualized way projected in the Curve Fitting Toolbox is represented. Methods for the isolation of particular criteria of individual subsystems that allow to consider, with the necessary level of detail, the nature of linkages and interactions of the individual parameters of detail, the nature of correlations and interactions of the individual complex deep-water control system parameters.

Key words: optimization, decision-making, diagnostics, minerals, multicriteriality.

## ВВЕДЕНИЕ

С середины XX-го века мировое сообщество проявляет значительный интерес к изучению и разработке разнообразных ресурсов морей и океанов. Флагманские программы ориентированы на использование океанического дна для добычи глубоководных железомарганцевых конкреций в будущей энергетике Земли [1–3]. При добыче полезных ископаемых со дна моря используется оборудование, управление которым требует от лица, принимающего решение (ЛПР), принятия оптимальных решений. Зачастую реализация принятого решения ЛПР связана с нечеткостью и неточностью его процессов. Принятие решений, направленное на процесс диагностики морского оборудования (ДМО), связано, прежде всего, с обработкой информации, доступной для анализа при решении задач данной сферы. В этой связи принятое решение выступает в качестве управляющего воздействия на анализируемый объект. В качестве объекта воздействия выступают нечеткие системы принятия решений ЛПР, морское оборудование (МО), знания ЛПР.

### 1 Анализ исследований в области оптимизации нечетких процессов принятия решений ДМО

Крупные компании России, при поддержке правительства РФ, в Крыму (Азово-Черноморской провинции) начинают разработки по внедрению морских технологий добычи полезных ископаемых. Эти разработки сталкиваются с неопределенностью в области принятия решений по ДМО. Достижение целей и принятие обоснованных решений по ДМО опираются на всесторонний анализ внешних и внутренних факторов, определяющих состояние анализируемого объекта и перспективу его развития.

В литературе описаны самые разные классы нечетких мер, имеющих разные свойства [1–3]. На рисунке 1 приведена диаграмма, изображающая отношение включения для некоторых мер [3].

Так, например, класс вероятностных мер входит в класс мер правдоподобия и в класс мер доверия, но не пересекается с классами мер возможности или необходимости. Информатизация данных аспектов на сегодня ведется

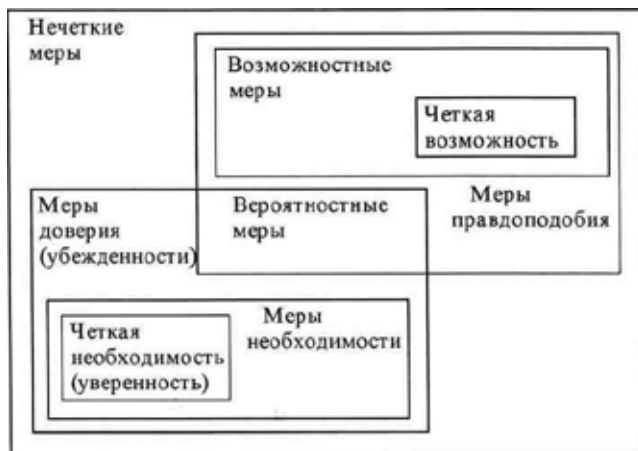


Рис. 1. Соотношения между нечеткими мерами

секторальным методом, где каждый модуль направлен на решение определенной задачи, а целостное представление состояния процесса находится у ЛПР. Решение данных задач невозможно без опоры на новые формы, модели, методы и способы принятия решений и формирования управления, широко использующие достижения автоматизации процессов управления, т. е. использующие современные компьютерные автоматизированные системы поддержки принятия решений (СППР).

### 2 Постановка задачи исследований оптимизации нечетких процессов принятия решений ДМО

Целью проведения исследований – это повышение эффективности управленческой деятельности ЛПР, оперативности, полноты и обоснованности принимаемых решений ЛПР по ДМО.

Средствами реализации этой цели являлась разработка математической модели оптимизации нечетких процессов (НП) для принятия решений по ДМО.

### 3 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ НЕЧЕТКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ДМО

#### 3.1 Обобщение модели

Задачи, возникающие в процессе принятия решений ДМО, носят аналитический характер и направлены на получение оценок ситуаций, планов, проектов и т. д., а также на выработку методов по проведению управляющих мероприятий. Обеспечение оптимизации, обоснованности и оперативности принимаемых решений на основе данной математической модели рассматривается в качестве главного результата, цели функционирования автоматизированной системы принятия решений ДМО [4]. Исходя из этого, программный комплекс и технология его использования для решения задач поддержки принятия решений будем рассматривать как некоторую функциональную систему, направленную на получение поставленного результата.

Рассмотрим задачу оптимизации, когда модель НП, происходящих в процессе ДМО на пространстве  $\Omega$ , описывается нечетко-дифференциальным уравнением вида:

$$fd\mu(\omega) = [h(\omega u) \wedge \bar{c}(\omega u)] fdf_{\tau}^u(\omega), \quad (1)$$

где  $c(\omega, u, t) = c(u, t)$ ,  $\forall \omega \in \Omega$  – нечеткая функция управления, заданная на пространстве  $U$  – значений управляющего воздействия  $u \in U$ ;  $h(\omega, u, t)$  – оператор управляемой нечеткой динамической системы (НДС),  $f_{\tau}^u(\omega)$  – НП на  $\Omega$ , определяющий нечеткость процесса по времени для управляемой НДС.

Будем считать, что эффективность управления НДС определяется по множеству критериев  $\Theta\{v\}$ , на котором задана нечеткая мера важности этих критериев  $g_{\Theta}(\cdot): 2^{\Theta} \rightarrow [0, 1]$ . В общем случае, потери по каждому из показателей  $v \in \Theta$  зависят от выбора управ-

ления  $u \in U$ , в конкретный момент времени в конкретном состоянии НДС. Обозначим через функцию  $l(v, u): \Theta \times U \rightarrow [0, 1]$  потери по показателям  $v \in \Theta$  при выборе управления  $u \in U$ .

В общем случае управление  $u \in U$  определяем в виде функции  $u(t, \omega)$ . Нечеткое отношение  $l(\omega, u)$  понимаем как распределение меры возможности потерь по  $v \in \Theta$  при выборе управления  $u \in U$ . Для меры возможности дополнение:

$$l'(v, u) = 1 - l(v, u), \quad (2)$$

будем определять меру выгоды выбора управления  $u \in U$  для критерия  $v \in \Theta$ . Согласно свойствам распределения меры возможности, максимально возможную выгоду по критерию  $v \in \Theta$  при выборе управления из подмножества  $E \subseteq U$  определяем соотношением:

$$j = \max_{u \in E} [1 - l(v, u)]. \quad (3)$$

В соответствии с этим минимально возможные потери  $v$  вычисляем по выражению:

$$\begin{aligned} v &= 1 - j = 1 - \max_{u \in E} [1 - l(v, u)] = \\ &= 1 - \max_{u \in E} [X_E(v, u) \wedge (1 - l(v, u))], \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\forall v, \bar{X}_E(v, u) = X_E(u)$  – характеристическая функция множества  $E \subseteq U$ . Минимально возможные потери при выборе управления из нечеткого подмножества  $\varphi(u): U \rightarrow [0, 1]$ , определяем соотношением:

$$v(v) = 1 - \max_{u \in E} [\varphi(u) \wedge (1 - l(v, u))]. \quad (5)$$

В основу формирования управляющих воздействий для НДС вкладываем принцип оптимальности, который кратко формируется в виде: следует искать всегда оптимальное продолжение процесса относительно того состояния, которое достигнуто в данный момент. НДС (1) будем рассматривать на некотором нечетком интервале времени  $T(t): T \rightarrow [0, 1]$ . Так как функция  $l'(v, u)$  определяет выигрыш по критерию  $v \in \Theta$ , то по всем критериям выигрыш будет определяться зависимостью:

$$l'_{\Theta}(u) = \int_{\Theta} l'(v, u) \circ g_{\Theta}(\cdot), \quad (6)$$

в текущий момент времени. Исходя из (6) и нечетко-интегрального управления для предоставления НП  $\mu_{i+1}(\omega) = \int_{\Omega} h(\omega, \omega) \circ \tilde{g}(\mu_i(\omega))$  интегральный вы-

игрыш будет определяться функционалом:

$$J = \int_T l'_{\Theta}(u) \circ \int_{\Psi_1(\omega)} f_{T(\omega)} \circ g(\cdot), \quad (7)$$

где  $g(\cdot): 2^{\Omega} \rightarrow [0, 1]$ ,  $f_T: \Omega \rightarrow [0, 1]$  – НП на  $\Omega$  задающий временную переменную в динамики НДС.

Таким образом, для объекта (1) была рассмотрена задача формирования оптимального, в смысле максимизации функционала (7), управления в соответствии с принятым принципом оптимальности Беллмана.

### 3.2 Исследования оптимизационной модели нечетких процессов принятия решений (ОМНППР) ДМО

Продолжая исследования ОМНППР ЛПР диагностики МО, рассмотрим проблемный аспект принятия многокритериальных решений с нечеткими целями с точки зрения процесса оптимизации. Анализ исследования по данной задаче показывает, что методы принятия решений во многом определяются спецификой задач и способом их формализации. Опыт авторов [5] показал малую пригодность ранее применяемых методов принятия решений ЛПР в современных условиях функционирования МО.

Существующие модели для решения многокритериальных задач в разной степени способствуют выполнению требований адаптации выбранной стратегии в отношении условий задания предпочтений на множестве целевых функций. В этом случае наиболее перспективными являются те из них, которые основываются на интерактивных процедурах, по которым на каждом шаге выполнения ЛПР может изменить вектор предпочтений. Модель, в основе которого заложена идея сужения области Парето – оптимальных решений, позволяет на каждом шаге углубиться в эту область, выполняя при этом требования адаптации.

Формально многокритериальная задача принятия решений с нечеткими целями может быть описана следующими элементами [6]:

- множеством допустимых альтернатив  $X \subset R^n$  с элементами  $x$ ;
- множеством всех возможных результатов, оценок альтернатив  $X \subset R^m$ ;
- функцией критерия  $f(\cdot) \rightarrow Y$ , устанавливающей связь между альтернативами и их оценками:
 
$$f(x) = (f_1(x), \dots, f_m(x)),$$

$$f_i(\cdot): X \rightarrow R^1, \quad i = 1, 2, \dots, m;$$
- функциями принадлежности
 
$$\mu_{c_i}: R^1 \rightarrow I, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

где  $I$  – единичный отрезок числовой прямой, которая характеризует предпочтения ЛПР.

Согласно [7, 8], под оптимальным решением задачи принятия решения с нечеткими целями понимается альтернатива

$$x^* \in X: x^* = \arg \max \mu_D(x), \quad (8)$$

где функция принадлежности  $\mu_D(x)$  определяется формулой:

$$\mu_D(x) = \bigwedge_{i=1}^m \mu_{c_i}(f_i(x)), \quad (9)$$

или

$$\mu_D(x) = \sum_{i=1}^m \lambda_i \mu_{c_i}(f_i(x)), \quad \lambda_i > 0, \sum \lambda_i = 1. \quad (10)$$

В формуле (10) числа  $\lambda_i$  играют роль коэффициентов относительной важности целей. В дальнейшем под функциями будем понимать сужение этих функций на множестве  $\overline{\sup C_i}$ , то есть

$$\mu_{c_i} = \mu_{c_i} \Big|_{\overline{\sup C_i}}, \quad (11)$$

где  $\overline{\sup C_i}$  есть замыкание множества

$$\sup C_i = \{f_i(x) \in R^1 \mid \mu_{c_i}(f_i(x)) > 0\}.$$

Предположим, что множество  $\sup C_i$  есть связанное множество в  $R^1$ , то есть замкнутый интервал  $[r_i, R_i]$ . При этом предположении условие (11) эквивалентно следующей системе неравенств:

$$r_i \leq f_i(x) \leq R_i, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (12)$$

Таким образом, поиск альтернативы, которая удовлетворяет условию (8), эквивалентно решению задачи математического программирования:

$$\mu_D(x) \rightarrow \max, \quad (13)$$

$$r_i \leq f_i(x) \leq R_i, \quad x \in X. \quad (14)$$

Так как основным представителем задач принятия решений, в условиях неопределенности начальных данных, являются задачи линейного программирования, то мы ограничимся рассмотрением случая, когда функции  $f_i(x)$  линейны:

$$f_i(x) = \sum_{j=1}^n x_j \alpha_{ij}.$$

Пусть коэффициенты линейных функций характеризуются функциями принадлежности  $\mu_{A_i}(\alpha_i): R^n \rightarrow I$ .

Пользуясь понятием условного нечеткого множества, определим нечеткое множество  $U_i \subset R^n$  с функцией принадлежности

$$\mu_{U_i}(x) = \sup_{\alpha} (\mu_{A_i}(\alpha_i) \wedge \mu_{C_i}(f_i(x, \alpha_i))). \quad (15)$$

С учетом нечеткости начальных данных функция принадлежности  $\mu_D(x)$  определяется формулой:

$$\mu_D(x) = \bigwedge_{i=1}^m \mu_{U_i}(x), \quad (16)$$

$$\text{или } \mu_D(x) = \sum_{i=1}^m \lambda_i \mu_{U_i}(x). \quad (17)$$

Рассмотрим задачу (13) для случая, когда коэффициенты линейных функций с не взаимодействующими нечеткими множествами. При этом условные функции принадлежности  $\mu_{A_i}(\alpha_i)$  допускают представления:

$$\mu_{A_i}(\alpha_i) = \bigwedge_{j=1}^m \mu_{A_{ij}}(\alpha_{ij}), \quad (18)$$

где  $\mu_{A_{ij}}(\alpha_{ij})$  – функция принадлежности вида  $\mu_{A_{ij}}: R^1 \rightarrow I$ . Пусть, кроме этого, при  $i \in [1:m], j \in [1:n]$

$$\mu_{A_{ij}}(\alpha_{ij}) = \begin{cases} 1, & \alpha_{ij} \in [\underline{\alpha}_{ij}, \bar{\alpha}_{ij}] \\ 0, & \alpha_{ij} \notin [\underline{\alpha}_{ij}, \bar{\alpha}_{ij}] \end{cases}. \quad (19)$$

При этих ограничениях формула (15) принимает вид

$$\mu_{U_i} = \sup_{\alpha_i \leq \alpha_i \leq \bar{\alpha}_i} \mu_{C_i}(f_i(x, \alpha_i)). \quad (20)$$

Введем множество  $K_j \subset R^m$ :

$$K_j = \{\alpha_i \in R^m \mid \underline{\alpha}_{ij} \leq \alpha_{ij} \leq \bar{\alpha}_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m\}. \quad (21)$$

Через нечеткость коэффициентов линейных функций система ограничений может быть описана в виде:

$$x_1 K_1 + x_2 K_2 + \dots + x_n K_n \subseteq K(r, R) \quad (22)$$

где  $K(r, R) = \{y \in R^m \mid r \leq y \leq R\}$ .

При  $x \geq 0$  задача математического программирования эквивалентна задаче (13).

$$\mu_D(x) \rightarrow \max,$$

$$\begin{cases} x_1 K_1 + x_2 K_2 + \dots + x_n K_n \subseteq K(r, R); \\ x \in X, \quad x \geq 0. \end{cases} \quad (23)$$

Выработку управленческих решений целесообразно проводить в пределах диалоговой системы. Ценность информации является характеристикой для принятия управленческого решения и может быть выражена через прирост вероятности оптимального решения. Если к получению информации вероятность оптимального решения была равна  $P_0$ , а позже стала  $P_1$ , то ценность

$$V = \log_2 P_1 - \log_2 P_0. \quad (24)$$

Методы управления морскими технологическими комплексами оборудования при создании локальных систем управления должны учитывать информационные связи между отдельными подсистемами этого морского технологического комплекса. Для вычисления оценки экономической эффективности принятия решений используем выражение для определения среднего геометрического:

$$U_y = \sqrt[3]{U_i U_x U_s}, \quad U_i \neq 0, U_x \neq 0, U_s \neq 0, \quad (25)$$

где  $U_y$  – оценка управляющего решения;  $U_i$  – комплексная оценка эффективности труда (соотношения достигнутой эффективности работы к базисной);  $U_x$  – хозяйственный эффект (отношения достигнутой величины дохода к базисной);  $U_s$  – экономичность (отношения отдачи затрат на управление к базисной).

Для систем управления МО [5] общие закономерности принятия решений можно сформулировать в виде функционального принципа теории принятия решений – принципа последовательного решения неопределенности. Данный принцип характеризует движение от общего представления о цели, характере деятельности, требования функционирования и развития управляющей системы

о показателях ее рациональной работы как целостности к детальному представлению задач. В процессе этого движения на каждом уровне представления системы, начиная с высшего, из множества допустимых альтернативных решений для дальнейшего рассматривания отбираются только те, которые заслуживают внимания из целей системы, а другие отбрасываются и больше не рассматриваются.

#### 4 ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА РЕАЛИЗАЦИЯ ОМНППР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТА MATLAB

При реализации ОМНППР процесс правильного выбора альтернатив для принятия решений (ПР) на каждом уровне обобщения проверяется путем их анализа на каждом более детальном уровне представления состояния системы, благодаря чему начальные альтернативы уточняются, а их количество сокращается. Появляется также возможность количественной оценки начальной неопределенности задачи прогноза  $E_{полн}$  и степени ее решения  $E_{ост}$ , которые можно вычислить:

$$E_{полн} = E_{нач} + E_T + E_{ост}, \quad (26)$$

где  $E_{ост}$  – остаточная неопределенность решения;

$E_T$  – неопределенность информации;

$E_{нач}$  – начальная неопределенность решения;

$E_{ост} = f(I(+))$ , где  $I(+)$  – глубина прогноза.

Вместе с  $E_{полн}$  и  $E_{ост}$  удобно пользоваться относительной оценкой меры качества решения

$$R = 1 - \left( \frac{E_{ост}}{E_{полн}} \right). \quad (27)$$

С практической точки зрения значение меры качества  $R$  состоит в том, что с ее помощью появляется возможность сравнения и оценки эффективности принимаемых решений или их отдельных элементов, т. е. адаптироваться к изменениям внешней среды, путем выдачи соответствующего управляющего воздействия на объект управления.

На рисунке 2 приведена поверхность «входы-выход», соответствующая синтезированной нечеткой системе. Из рисунка 2 можно сделать вывод, что нечеткие правила достаточно хорошо описывают сложную нелинейную зависимость.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана и исследована модель оптимизации НП принятия решений ДМО, которая описана следующими элементами: множеством допустимых альтернатив ПР ЛПР; множеством всех возможных результатов, оценок альтернатив ПР ЛПР; функцией критерия, устанавливающей связь между альтернативами ПР ЛПР и их оценками; функциями принадлежности.

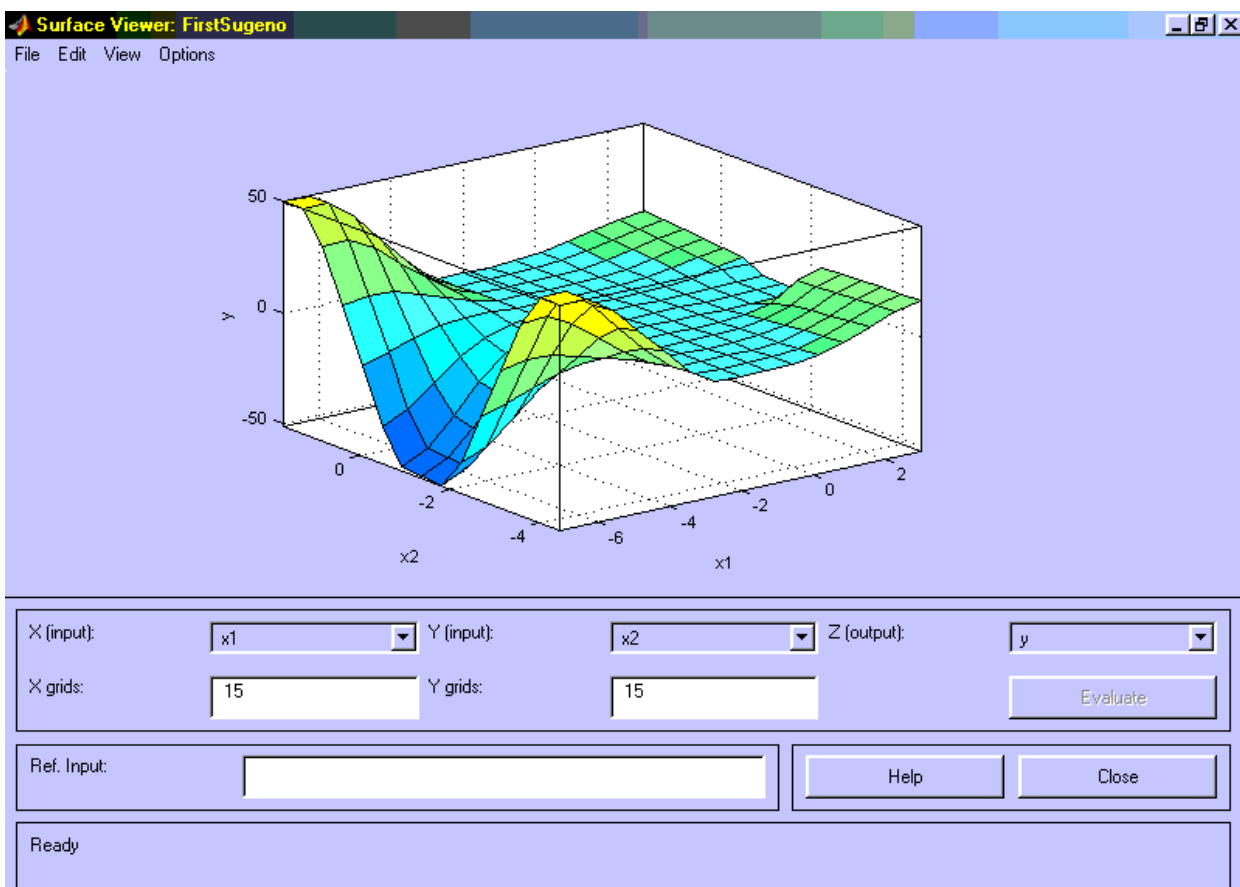


Рис. 2. Поверхность «входы-выход», соответствующая синтезированной нечеткой системе ОМНППР



Установлено, что для систем управления МО общие закономерности принятия решений можно сформулировать в виде функционального принципа последовательного решения неопределенности.

С использованием пакета Matlab построена модель синтезированной нечеткой системы ОМНППР.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бачева Е.Д. Преобразование марганцевых конкреций за рубежом // Бюл. ИНТИи ТЭИ. Черная металлургия. – 1989. – № 4 (1080). – С. 3–18
2. Гасик М.И. Марганец. – М. : Металлургия, 1990. – 608 с.
3. Гасик М.И. Железомарганцевые конкреции мирового океана: юрисдикция, геология, геохимия, металлургия // Геология и полезные ископаемые мирового океана. – 2005. – № 1. – С. 34–50
4. Андреев Е.Т., Кондратьев Л.И., Бородин Н.К. Проблема добычи минерального сырья со дна мирового океана. – URL: [http://www.sgb.com.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=209:ryda&catid=2:gornoe-delo&Itemid=4](http://www.sgb.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=209:ryda&catid=2:gornoe-delo&Itemid=4) (Дата доступа: 07.07.2014).
5. Авраменко В.П. Управление производством в условиях неопределенности: Монография. – К. : НВК ВО, 1992. – 48 с.
6. Алтунин А.Е., Семухин М.В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях : Монография. – Тюмень : Изд-во Тюменского государственного университета, 2000. – 352 с.
7. Вошин А.П., Сотиров Г.Р. Оптимизация в условиях неопределенности. – М. : Изд-во МЖ; София : Техника, 1989. – 224 с.
8. Чёрный С.Г. Применение механизма информационных интеллектуальных моделей в системах автоматического управления // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2012. – № 1 (44). – С. 215–220.

## REFERENCES

1. Bacheva E.D. Preobrazovaniye margantseyvkh konkretyy za rubezhom [Halobolite Reconstitution backfold]. *Byul. INTIi TEI. Chernaya metallurgiya* [Bulletin INTIi TEI. Iron and Steel Industry]. 1989, no. 4 (1080), pp. 3–18.
2. Gasik M.I. *Marganets* [Manganese]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1990. 608 p.
3. Gasik M.I. Zhelezomargantseyvye konkretyi mirovogo okeana: yurisdiktsiya, geologiya, geokhimiya, metallurgiya [Ferromagnese Nodules of World Ocean: Jurisdiction, Geology, Geochemistry, Metallurgy]. *Geologiya i poleznyye iskopayemyye mirovogo okeana* [Geology and Mineral Resources of World Ocean]. 2005, no. 1, pp. 34–50.
4. Andreev E.T., Kondratev L.I., Borodin N.K. *Problema dobychi mineralnogo syr'ya so dna mirovogo okeana* [Problem of Mineral Stock Extraction from World Ocean Floor]. Available at: [http://www.sgb.com.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=209:ryda&catid=2:gornoe-delo&Itemid=4](http://www.sgb.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=209:ryda&catid=2:gornoe-delo&Itemid=4) (accessed: 07.07.2014).
5. Avramenko V.P. *Upravlenie proizvodstvom v usloviyakh neopredelennosti: Monografiya* [Industrial Process Control under Uncertainty: Monograph]. Kiev, NVK VO Publ., 1992. 48 p.
6. Altunin A.E. and Semukhin M.V. *Modeli i algoritmy prinyatiya resheniy v nechetkikh usloviyakh: Monografiya* [Decision-Making Models and Algorithms under Uncertainty]. Tyumen, Izd-vo Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta Publ., 2000. 352 p.
7. Voshchin A.P. and Sotirov G.R. *Optimizatsiya v usloviyakh neopredelennosti* [Optimization under Uncertainty]. Moscow, Izd-vo MZh Publ.; Sofia, Tekhnika Publ., 1989. 224 p.
8. Cherny S.G. Primeneniye mekhanizma informatsionnykh intellektualnykh modeley v sistemakh avtomaticheskogo upravleniya [Application of Information Intellectual Models in Automatic Control System]. *Vestnik Khersonskogo natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Kherson National Technical University], 2012, no. 1 (44), pp. 215–220.