

---

УДК 519.71

*Е.И. КУЧЕРЕНКО, Т.В. СМУЛЬСКАЯ*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОРИЕНТИРОВАННЫХ НА ЗНАНИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ**

---

Рассматривается задача оптимизации процессов принятия решений на примере транспортной задачи с использованием ограничений, ориентированных на знания. Формулируется методология решения поставленной задачи, предлагаются рекомендации по снижению рисков грузоперевозок на множестве ограничений.

### **Введение**

Существующие подходы к оптимизации процессов в сложных системах [1, 2] ориентированы преимущественно на детерминированные и стохастические постановки. Такие подходы являются достаточно эффективными, но они не учитывают уникальных процессов в системах и объектах, которые в силу ограниченных знаний, временных, материальных ресурсов, других объективных причин не могут быть определены как детерминированные или стохастические. Одной из наиболее важных проблем в решении задач оптимизации процессов принятия решений в настоящее время является использование в качестве функционалов и ограничений слабо формализованных знаний на основе лингвистических переменных, представленных в нечетком пространстве состояний [3, 4].

Ориентированные на знания модели имеют важное практическое значение, как основа принятия решений в экспертных системах и системах поддержки принятия решений [5]. Знания могут носить детерминированный, вероятностный (стохастический) или нечеткий характер. Известно, что одним из наиболее поразительных свойств человеческого интеллекта является способность принимать правильные решения в обстановке неполной, неточ-

ной и нечеткой информации. Нечеткая логика, на которой основано нечеткое управление, ближе по духу к человеческому мышлению и естественным языкам, чем традиционные логические системы. Построение и реализация моделей, приближенных к рассуждениям человека, использование их в современных поколениях компьютерных систем представляет сегодня одну из важнейших проблем науки, как в теоретическом, так и в практическом аспекте.

Смещение центра исследований нечетких систем в сторону практических приложений привело к постановке и решению целого ряда проблем, таких как новые архитектуры компьютеров для нечетких вычислений, элементная база нечетких компьютеров и контроллеров, инструментальные средства разработки, инженерные методы расчета и разработки нечетких систем управления и многое другое. Математическая теория нечетких множеств [6, 7] позволяет описывать нечеткие понятия и знания, оперировать этими знаниями на основе нечеткого логического вывода Мамдани (Mamdani) или TSK (Takagi, Sugeno, Kang) [7].

Существующие решения по оптимизации процессов принятия решений с использованием нечетких функционалов и ограничений [8] во многом ограничены постановками или узкими специализированными результатами, что не позволяет их использовать или адаптировать к другим приложениям.

*Целью* данных исследований является повышение достоверности принимаемых решений в прикладных областях систем и средств искусственного интеллекта на основе расширений частных задач линейного программирования. Таким образом, предлагаемые решения являются важными и актуальными.

### 1. Постановка задачи исследований

Рассмотрим классическую транспортную задачу [2], в которой в качестве критерия оптимальности принята минимальная стоимость перевозок всего груза:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \quad (1)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, \quad \sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, \quad x_{ij} \geq 0, \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где  $c_{ij}$  – затраты на перевозку единицы груза из пункта отправления  $i$  в пункт назначения  $j$ ;  $a_i$  – запасы груза в пункте отправления  $i$ ;  $b_j$  – потребность груза в пункте назначения  $j$ ;  $x_{ij}$  – количество груза, перевозимого из пункта отправления  $i$  в пункт назначения  $j$ .

Как решение задачи (1) – (2), необходимо найти план перевозок с минимальной стоимости для транспортировки некоторого однородного груза из  $m$  пунктов отправления ( $A_1, A_2, A_3, \dots, A_m$ ) в  $n$  пунктов потребления ( $B_1, B_2, B_3, \dots, B_n$ ). Пусть  $a_i$  – запасы груза в пункте отправления  $i$ , соответственно  $b_j$  – потребности в грузе в пункте назначения  $j$ . Обозначим также цены перевозок единицы груза из пункта отправления  $i$  в пункт назначения  $j$  –  $c_{ij}$ ,  $i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$ , а через  $x_{ij}$ , ( $i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$ ) – количество единиц груза, перевозимого из пункта отправления  $i$  в пункт назначения  $j$ .

Решением этой задачи являются транспортные потоки  $x_{ij}$  между пунктами отправления и назначения. Если все параметры  $a_i$ ,  $b_j$  и  $c_{ij}$  ( $i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$ ) заданы детерминировано, то модель линейного программирования будет хорошо определенной и может быть решена хорошо исследованными методами: симплекс-методом или методом потенциалов [2].

Пусть нам, как ограничение на (1), задана степень риска  $\{RS_{ij}\}$ , которая влияет на эффективность и качество решения исходной задачи (1) – (2) при транспортировке грузов  $x_{ij}$ ,  $i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$  в виде нечетких знаний [7]. Необходимо предложить стратегию решения поставленной задачи (1) – (2) с учетом ограничений на степень риска  $\{RS_{ij}\}$ .

## 2. Решение задачи оптимизации процессов принятия решений с нечеткими ограничениями

Известно, что при представлении неопределенности в вероятностном пространстве состояний, т.е. если некоторые из параметров транспортной задачи представляют собой случайные величины, то модель перестает быть хорошо определенной в математическом плане [1, 9], поскольку теперь требуется минимизировать целевые функции, выраженные через неопределенные количества, а ограничения не задают детерминированную допустимую область решений.

Для решения различных управленческих задач, в которых необходимо учитывать случайность, были разработаны модели стохастического программирования [9]. Наиболее исследованными из них можно считать модели среднего ожидаемого значения и модели стохастического программирования с вероятностными ограничениями. На практике, в сложных стохастических системах принятия решений, обычно приходится иметь дело с множеством событий, тогда у лица, принимающего решение, возникает потребность максимизировать вероятностные функции наступления этих событий. Чтобы обеспечить возможность создания моделей для такого типа задач, в работе [9] предложена теоретическая база для третьего класса задач стохастического программирования, названного стохастическим событийным программированием.

Нечеткое (fuzzy) программирование предлагает мощные средства решения оптимизационных задач с нечеткими переменными. Следуя идее стохастического программирования с вероятностными ограничениями, для нечетких систем принятия решений предполагается, что нечеткие ограничения будут удовлетворяться с некоторым уровнем возможности. Это приводит к теории нечеткого программирования с возможностными ограничениями. Однако такие подходы еще мало исследованы [4, 8].

Предлагаемые в работе подходы, математические модели и методы, лежащие в основе функционирования систем и функционирующие в нечетком пространстве состояний, опираются на операции над нечеткими множествами и отношениями, алгоритмы прямого GMP и обратного GMT нечетких логических выводов [4, 6, 7]. Выбор вида операции и реализуемых алгоритмов зависит от конкретной постановки задачи и предметной области.

Стратегия решения задачи включает такие основные этапы:

– исходя из особенностей и требований предметной области, формируем исходную задачу в виде (1) – (2);

– определяем множество факторов  $\{FK\}$ , формирующее множество рисков  $\{RS_{ij}\}$ ;

– формируем нечеткую базу знаний для всех факторов риска на основе нечетких продукционных правил вида *if / then*, которые накладывают дополнительные ограничения на переменные исходной задачи;

– для всех переменных *if / then* – правил формируем функции принадлежности значений лингвистических переменных вида «*малый*», «*средний*», «*большой*» и их производных;

– расширяем исходную задачу (1) – (2) путем ввода нечетких ограничений;

– реализуем задачу оптимизации при нечетких ограничениях;

– при необходимости уточняются значения переменных.

Уточним некоторые положения предложенной выше стратегии.

Исходя из предметной области определено, что существенное влияние на уровень рисков при грузоперевозках оказывают *факторы*, порождаемые: влиянием преимущественно объективных обстоятельств (качество полос дороги; наличие станций технического обслуживания и автозаправочных станций; время, необходимое для прохождения маршрута; количество водителей в экипаже; интенсивность движения; техническое состояние транспортного средства); влиянием преимущественно субъективных обстоятельств; влиянием техногенной обстановки; административным влиянием; политическим влиянием, а также факторы, определяемые конечной надежностью технических средств, и другие.

Примером фрагмента нечеткой базы может быть следующее правило:

$$\underline{\text{if}} \text{ (Качество «низкое») \& (Сервис «отсутствует») \& (Техсостояние «неудовлетворительное») } \underline{\text{then}} \text{ (Риск «высокий»).} \quad (3)$$

Тогда искомая постановка задачи с учетом нечетких ограничений (3) имеет вид:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \quad (4)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, \quad \sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, \quad x_{ij} \geq 0, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}, \quad (5)$$

$$\text{if } x \text{ is } \tilde{A} \text{ then } y \text{ is } \tilde{B}, \quad \mu(x_{i0}) \geq \mu(x_{i0})^{(ad)}, \quad RS < RS^{(ad)}, \quad (6)$$

где  $\mu(x_{i0})$ ,  $\mu(x_{i0})^{(ad)}$  – соответственно значение и минимально допустимое значение функции принадлежности;  $RS^{(ad)}$  – верхняя оценка риска.

Представив if/then условия [4] с известным отношением  $\tilde{R}(x, y)$  и нечетким значением антецедента  $\tilde{A}'$  в алгоритме прямого логического вывода GMP, определяем следствие  $\tilde{B}'$ , как решение:

$$\begin{array}{l} \text{if } x \text{ is } \tilde{A} \text{ then } y \text{ is } \tilde{B}, \\ \frac{x \text{ is } \tilde{A}'}{y \text{ is } \tilde{B}'} \end{array} \quad (7)$$

Таким образом:

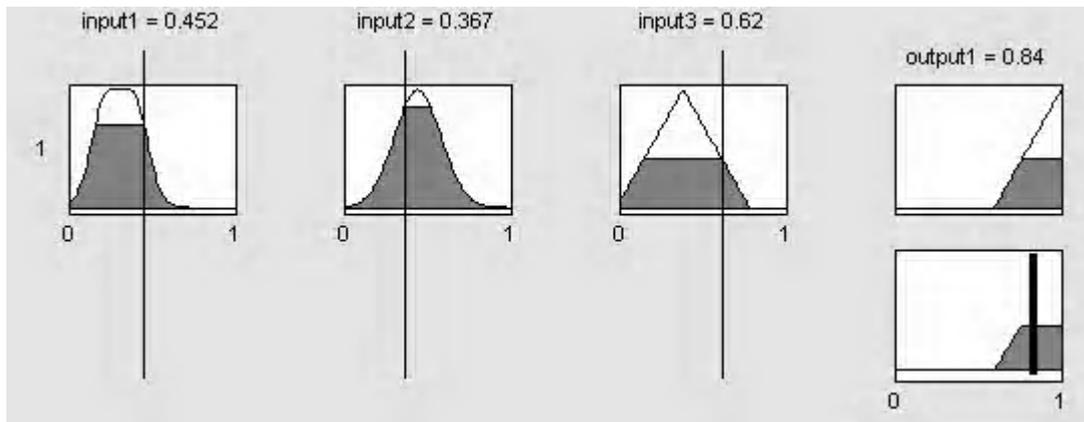
$$\tilde{B}' = \tilde{A}' \circ \tilde{R}(x, y). \quad (8)$$

Решение (7) с учетом (8) определяем, как нахождение

$$\mu_{B'}(y) = \bigvee_x [\mu_{A'}(x) \wedge \mu(x, y)] \quad (9)$$

с последующей дефаззификацией (9) [4] и нахождением искомого решения относительно RS.

Реализация алгоритма нечеткого логического вывода Мамдани в среде Matlab [10] предложена на рисунке. В случае, если некоторое из ограничений (6) не выполняется, то реализуется обратный GMT нечеткий логический вывод Мамдани [4] и уточняются начальные условия задачи.



Нечеткий логический вывод Мамдани

### 3. Рекомендации по практическому использованию полученных результатов

Предлагаемые в работе решения являются во многом перспективными и могут быть использованы в интеллектуальных системах принятия решений, когда некоторые переменные или ограничения являются нечеткими.

Некоторым ограничением на применение предлагаемых подходов является требование полноты и непротиворечивости правил нечеткой базы знаний при решении оптимизационных задач. Эта трудность может быть устранена с корректным использованием знаний экспертов, положений работы [4] по исследованиям полноты и непротиворечивости нечет-

ких процессов, их динамики и взаимодействия, адекватной настройкой параметров и вида функций принадлежности.

Предлагаемый подход, стратегии, алгоритмы, соответствующее программное обеспечение было использовано в работах одного из автотранспортных предприятий. Опытная эксплуатация подтвердила эффективность теоретических и практических результатов данных исследований.

### **Выводы**

В результате исследования на основе содержательного анализа предметной области и существующих решений на примере транспортной задачи сформулирована постановка задачи оптимизации процессов принятия решений с нечеткими знаниеориентированными ограничениями.

*Научная новизна.* Определено, что минимизация рисков в грузоперевозках, когда некоторые процессы представлены в нечетком пространстве состояний, может быть достигнута посредством модификации классической задачи с использованием расширений области ограничений, применения нечеткой базы знаний и алгоритмов нечеткого логического вывода GMP, GMT. Предложена стратегия решения поставленной задачи с учетом ограничений на степень рисков, сформулированы рекомендации по снижению рисков грузоперевозок на множестве ограничений.

*Практической значимостью* полученных результатов является подтверждение эффективности подхода при практическом применении результатов исследования на реальном объекте.

**Список литературы:** 1. Мусеев Н.Н., Иванов Ю.П., Столярова Е.М. Методы оптимизации. М.: Наука, 1978. 352 с. 2. Линейное и нелинейное программирование / Ляшенко И.Н., Карагодова Е.А., Черникова Н.В., Шор Н.З. Київ: Вища школа, 1975. 372 с. 3. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 165 с. 4. Бодянский Е.В., Кучеренко Е.И., Михалев А.И. Нейро-фаззи сети Петри в задачах моделирования сложных систем. Днепропетровськ: Системні технології, 2005. 311 с. 5. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам: Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 388 с. 6. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. М.: Радио и связь, 1982. 432 с. 7. Tsoukalas L.H., Uhrig R.E. Fuzzy and Neural Approaches in Engineering. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1997. 587 p. 8. Алтунин А.Е., Семухин М.В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях. Тюмень: ТГУ, 2000. 352 с. 9. Лю Б. Теория и практика неопределенного программирования. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. 416 с. 10. Gajic Z., Lelija M. Modern Control Systems Engineering: With MATLAB Laboratory Experiments. University of Michigan, 2007. 495 p.

*Поступила в редколлегию 14.03.2009*

**Кучеренко Евгений Иванович**, д-р техн. наук, профессор кафедры искусственного интеллекта ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 80577021337.

**Смутьская Татьяна Владимировна**, студентка магистратуры специальности Интеллектуальные системы принятия решений, факультет КН, ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, e-mail: kh\_stv@mail.ru, тел. 80577021337.