

УДК 66.01:51022(075.5)

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ОДНОРОДНОМ НАБОРЕ С ПОМОЩЬЮ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

Дербишер Е.В.

*ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, Россия, (400005, Волгоград, пр. Ленина, д. 28), e-mail: derbisher1@yandex.ru*

---

Изложена теория и приведены примеры использования нечетких множеств для решения задач исследования сложных технических объектов. Нечеткие множества здесь выступают в качестве инструмента для распределения технических объектов в однородном наборе. Таковым может быть вещество, материалы, проектные решения, стратегии и т.д. Рассмотрены также такие компьютерные методы, как ранжирование, классификация, верификация и экспертиза этих технических объектов. Применение аппарата нечетких множеств позволяет анализировать как числовые, так и нечисловые характеристики в условиях неопределенности. Изложенные методы прогноза свойств и конструирования технических объектов с заранее заданными свойствами позволяют решать широкий круг дополнительных технических задач в рамках управления техногенным процессом.

---

Ключевые слова: нечеткие множества, классификация, экспертиза, управление, технический объект.

## DISTRIBUTION OF TECHNICAL OBJECTS IN THE UNIFORM SET BY MEANS OF FUZZY SETS

Derbisher E.V.

*Volgograd state technical university, Volgograd, Russia, (400005, Volgograd, Lenin Ave., 28), e-mail: derbisher1@yandex.ru*

---

The theory and the given examples of use of fuzzy sets for the solution of research problems of difficult technical objects is stated. Fuzzy sets here act as the tool for distribution of technical objects in a uniform set. The substance, materials, design decisions, strategy, etc. can be that. Also such computer methods as ranging, classification, verification and examination of these technical objects are considered. Use of the device of fuzzy sets allows to analyze both numerical, and non-numerical characteristics in the conditions of uncertainty. The stated methods of the forecast of properties and designing of technical objects with in advance set properties allow to solve a wide range of additional technical tasks within management of technogenic process.

---

Keywords: fuzzy sets, classification, examination, management, technical object are indistinct.

### Введение

Данная статья представляет собой изложение как относительно новых разработанных подходов, так и адаптацию к задаче рассматриваемых в литературе теоретических положений из области нечеткой математики. Нечеткие ситуации и данные в науке, технике и образовании, связанные с принятием решений, встречаются сегодня все чаще. Возникающие при этом задачи, связанные с систематизацией, управлением и обработкой информации, все чаще анализируются и решаются средствами сформировавшейся за последние десятилетия нечеткой математики [9]. В данной работе рассмотрен один из ее важных разделов – нечеткие множества (НМ) в качестве инструмента для распределения технических объектов (ТО) в однородном наборе. Таковым может быть группа веществ, материалы, проектные решения, стратегии и т.д.

Рассматриваемые ниже методы, связанные с использованием НМ, позволяют проводить обработку наборов информации как «вручную», так и с помощью

информационных технологий. Организованное распределение ТО в таких наборах позволяет осуществлять выбор оптимального варианта из множества заданных. При этом понятие «выбор» может включать такие связанные между собой действия, как ранжирование, классификацию, экспертизу, конструирование и ряд других.

Ниже рассматриваются общие методики построения НМ в указанных случаях. Исходным условием в них является построение НМ  $\hat{Q}_{0j} = \{x_j | \mu_{0j}(x_j)\}$ ,  $j = \overline{1, m}$ , где  $x_j$  – параметр, а  $j$  – номер критерия. В качестве исходных критериев используют физико-химические, технологические, экологические, экономические характеристики, опыт и интуицию технолога, исследователя, эксперта и т.д.

### **Ранжирование**

Рассмотрим общую методику применения НМ при ранжировании ТО. «Ранжирование (ранжировка, ranging) – расположение в каком-либо порядке на основании каких-либо признаков, упорядочивание...» [1].

Пусть имеется некоторое множество ТО  $S = \{s_i | i = \overline{1, n}\}$ . Расположим элементы множества в порядке убывания по признакам «активности», понимая под «активностью» целевую техническую функцию.

Подготовка и использование данных разбивается на три этапа:

- 1) проводится выбор критериев, описывающих «активность»;
- 2) дается численная оценка соответствия параметров каждому критерию в отдельности;
- 3) делается вывод общей численной оценки соответствия всех выбранных параметров критериям «активности» в целом.

Для примера в качестве трех критериев (пространство параметров), описывающих «активность», примем значения  $x_1; x_2; x_3$ .

Описываем пространство параметров  $x_j$ , где  $j = \overline{1, m}$  – номер критерия. В нашем случае  $m=3$  и  $X_j \subset [0;100]$ , где  $X_j$  – область значений  $x_j$ . Таким образом,  $x_j$  принимает некоторое значение для каждого объекта из множества  $S$ :

$$f_j: S \rightarrow Q_j, \text{ где } Q_j = \{q_{ij} | i = \overline{1, n}\}, Q_j \subset X_j.$$

Затем определяется значение  $x_j$ , в наибольшей степени отвечающее  $j$ -тому критерию. Обозначим его через  $q_{0j}$ . Это то значение  $q_{ij}$  из множества  $Q_j$ , при котором достигается наилучший результат. Для построения НМ определяем радиус  $\delta_{0j}$  значений  $x_j$ , в пределах которого  $x_j$  удовлетворяют данному критерию.

Далее строим функции принадлежности  $\mu_{0j}$ :

$$\mu_{0j}: X_j \rightarrow [0;1], \mu_{0j} \in C(X_j), \mu_{0j}(q_{0j})=1, \mu_{0j}(x_j) \geq 0,5 \Leftrightarrow x_j \in [q_{0j}-\delta_{0j}; q_{0j}+\delta_{0j}].$$

Результатом является следующее НМ

$\hat{Q}_{0j} = \{x_j | \mu_{0j}(x_j)\}$ ,  $j = \overline{1, m}$ , описывающее  $j$ -тый критерий.

Аналогичным образом строятся функции принадлежности  $\mu_{ij}$  для всех  $x_j$ . Здесь  $q_{ij}$  определено выше, а в качестве  $\delta_{ij}$  можно использовать погрешность величины  $q_{ij}$ . Таким образом, НМ для  $j$ -того параметра  $s_i$ :  $\hat{Q}_{ij} = \{x_j | \mu_{ij}(x_j)\}$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, m}$ .

На следующем этапе выбирается функция принадлежности [5]. Используем функцию:

$$\mu_{ij}(x_j) = \left( \frac{\delta_{ij}^2}{255(x_j - q_{ij})^2 + \delta_{ij}^2} \right)^{\frac{1}{8}}, \quad i = \overline{0, n}, \quad j = \overline{1, m}.$$

Далее находим, в какой мере  $s_i$  отвечает  $j$ -тому критерию. Для этого вычисляется индекс равенства  $v_{ij}$  двух соответствующих НМ:

$$v_{ij} = \max_{x_j} \min(\mu_{ij}(x_j), \mu_{0j}(x_j)).$$

Если  $v_{ij}=0$ , это означает, что  $s_i$  не отвечает  $j$ -тому критерию; в обратном случае, то есть если  $v_{ij}=1$ , –  $s_i$  в полной мере соответствует  $j$ -тому критерию; промежуточные значения  $v_{ij}$  показывают меру соответствия соединения  $s_i$   $j$ -тому критерию.

Чтобы вывести интегральную оценку  $v_i$ , которая дает основание для принятия решения, используем соотношение:

$$v_i = \sum_{j=1}^m \alpha_j v_{ij}, \quad \text{где } \alpha_j \geq 0, \quad \sum_{j=1}^m \alpha_j = 1, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m},$$

где коэффициент  $\alpha_j$  показывает значимость (вес)  $j$ -того критерия, а  $v_i$  – итоговый ранг ТО с максимальным значением,  $v_i$  в пределах, как указано выше, от 0 до 1. Итогом анализа является выбор перспективного или оптимального ТО.

### Классификация

Применительно к теме настоящей работы под классификацией понимается отнесение ТО к одному из множеств, обладающему определенным свойством или признаком с помощью ранга. Классификацию ТО можно проводить как по виду его технической функции, так и по степени воздействия функции (свойства) выбранной добавки на конечный результат. Например, если выбрать четыре градации классов ТО и использовать вышеприведенную интегральную оценку  $v_i$  от 0 до 1, то ранг можно интерпретировать следующим образом:

- ✓ Высокоперспективный                      -0,70–1,00.
- ✓ Умеренно перспективный                    -0,60–0,69.
- ✓ Малоперспективный                         - 0,40–0,59.
- ✓ Неперспективный                            - 0,00–0,39.

Здесь можно принимать решения о выборе ТО, опираясь на количественные значения  $v_i$ . При выборе в практических условиях пространство ТО и параметров его описывающих может формироваться «под заказ» с выбором как факторов, так и их значений.

### **Верификация**

Будем использовать следующее определение. «Верификация – это подтверждение соответствия конечного продукта предопределенным эталонным требованиям» [3]. В настоящее время при использовании информации для решения технических задач почти всегда возникает ряд проблем, важнейшими из которых являются:

- в разных источниках значения данных отличаются для одинаковых ТО.

В этом случае построение и анализ НМ позволяет определить место ТО в ряду подобных, провести интер(экстра)поляцию и сделать выводы об истинных значениях этих данных;

- существуют субъективные мнения такого типа, как: «хороший», «плохой», а по другому в этом же случае – как «удовлетворительный» или «неудачный».

Здесь, рассматривая наборы характеристик ТО в виде НМ, можно провести их классификацию и дать обоснованные количественно рекомендации. И поскольку будут анализироваться однородные наборы ТО, то сравнивая  $v_i$ , можно снизить вероятность искажений;

- проверяемые ТО классифицируются на основе многократно проверенной информации и исходя из вычисления  $v_i$ , делаются выводы и вносятся соответствующие коррективы.

Это напоминает широко распространенный в вычислительной математике метод приближенного или точного нахождения какой-либо величины по известным отдельным значениям этой же или других величин, связанных с ней [2].

### **Экспертиза**

Здесь исходим из следующей сущности: «экспертиза – это предположение: что надо сделать, чтобы было то-то; или что будет, если...» [8].

Оценивая качество ТО, можно в случае экспертизы поступить в примерном соответствии с рассмотренным выше:

- ✓ описать пространство параметров данных экспертизы;
- ✓ выделить множества  $X$ ;
- ✓ построить НМ  $\hat{Q}$ ;
- ✓ вычислить ранг  $v$  как интегральный показатель качества.

Здесь ранг ( $v$ ) будет выступать в качестве основания для дальнейшей экспертной оценки. Качество ТО можно оценивать также, включив помимо измеряемых показателей,

мнение специалистов – экспертов, выраженное, например, в форме анкет или другими способами.

При большом объеме информации в этом случае обработку НМ удобнее проводить в автоматизированном режиме с применением программы для ЭВМ. Полученные количественные данные как и в предыдущих случаях позволят принимать обоснованные решения.

### Прогнозирование

Для собственно прогнозирования с использованием НМ в соответствии с методиками исследования множеств [4] необходимо сформулированное и подверженное анализу новое НМ добавить в известное НМ. Получившееся новое НМ должно несущественно отличаться от предыдущего. В этом случае предполагается, что ТО обладает прогнозируемым свойством («активностью»), и, наоборот, если отличия будут значительными, то прогноз не оправдывается.

Рассмотрим формальную сторону. Пусть имеется множество ТО  $S = \{s_i | i = \overline{1, n}\}$ . Определим множество параметров  $D = \{d_j | j = \overline{1, m}\}$  химических соединений. Частоту появления параметра  $d_j$  в  $s_i$  обозначим через  $v_{ij}$ . Проранжируем все  $s_i$ , как это было показано выше, и построим, как уже использовалось выше, например, четыре множества (класса):

$$S^0 = \{s_i^0, i = \overline{1, n^0}\} - \text{неперспективное,}$$

$$S^1 = \{s_i^1, i = \overline{1, n^1}\} - \text{малоперспективное,}$$

$$S^2 = \{s_i^2, i = \overline{1, n^2}\} - \text{перспективное,}$$

$$S^3 = \{s_i^3, i = \overline{1, n^3}\} - \text{высокоперспективное.}$$

$$\text{Причем, } S = \bigcup_{k=0}^3 S^k, \quad n = \sum_{k=0}^3 n^k.$$

Вычислим частоту появления  $v_j^k$  параметра  $d_j$  среди множества  $S^k$ :

$$v_j^k = \sum_{i=1}^{n^k} v_{ij}^k,$$

где  $v_{ij}^k$  – частота появления  $d_j$  в составе  $s_i^k$ .

Для каждого класса  $S^k$  построим НМ  $\hat{D}^k$ , описывающее ТО данного класса:

$$\hat{D}^k = \{d_j | \mu^k(d_j) | j = \overline{1, m}\}$$

Будем считать, что множество  $\hat{D}^k$  является статистическим образом ТО класса  $S^k$ .

Определим функцию принадлежности  $\mu^k(d_j)$  как оценку вероятности появления  $d_j$

среди класса  $S^k$ :

$$\mu^k(d_j) = \begin{cases} \frac{v_j^k}{v_j}, v_j \neq 0 \\ \frac{1}{4}, v_j = 0 \end{cases}, \text{ где } v_j = \sum_{k=0}^3 v_j^k.$$

Необходимо сделать вывод о принадлежности избранного ТО  $s$  одному из классов  $S^k$ .

Добавим  $s$  в класс  $S^k$ , при этом получим новый класс  $S_s^k$ :

$$S_s^k = S^k \cup \{s\}$$

и построим для  $S_s^k$  статистический образ  $\hat{D}_s^k$  так, как это показано выше.

Вычислим  $\Delta^k$  – индекс изменений, произошедших в классе  $S^k$ , после добавления  $s$ . В качестве оценки величины  $\Delta^k$  возьмем индекс несходства НМ  $\hat{D}^k$  и  $\hat{D}_s^k$ :

$$\Delta^k = 1 - S(\hat{D}^k, \hat{D}_s^k) = 1 - \frac{|\hat{D}^k \cap \hat{D}_s^k|}{|\hat{D}^k \cup \hat{D}_s^k|}, \text{ где } \hat{D}^k, \hat{D}_s^k \text{ – дополнения НМ } \hat{D}^k \text{ и } \hat{D}_s^k$$

соответственно.

Определим мощность НМ следующим образом.

Пусть  $X = \{x\}$  универсум и задано некоторое НМ  $\hat{A} = \{x | \mu_A(x)\}$ , тогда  $|\hat{A}| = \sum_{x \in X} \mu_A(x)$ .

Очевидно,  $\Delta^k \in [0; 1]$ .

Получили, что индекс  $\Delta^k$  принимает значение 0, если НМ никак не изменилось, и значение 1, если НМ настолько изменилось, что новое НМ не имеет ни одного общего элемента со старым. Т. е. чем больше значение  $\Delta^k$ , тем более радикальные изменения произошли в множестве  $S^k$ . Далее осуществляется классификация  $s$ , относим ТО туда, где значение  $\Delta^k$  окажется наименьшим, то есть  $s \in S^r$ , где  $r = \arg \min_{k=1,4} \Delta^k$  и даем результат прогнозирования.

### Конструирование

«Конструирование – деятельность по созданию материального образа разрабатываемого объекта» [10]. Обычное поисковое конструирование ТО для ряда вариантов может быть существенно дополнено применением средств НМ. Здесь применение НМ – задача относительно новая, вызванная к жизни высокой конкуренцией на научно-техническом рынке и ростом объема патентуемых новых технических решений. При этом предметом рыночных отношений стали как реальные, так и виртуальные ТО, имеющие вероятность быть связанными с реальными и перспективными техническими функциями.

При конструировании используемым приемом, как и в предыдущем случае задействованности НМ, является применение информационных моделей.

Здесь немного конкретизируем. Это направление является сегодня очень важным, например, в фармакологии, когда при создании и запуске на рынок новых лекарств удается с применением ЭВМ с высокой вероятностью создать виртуальные структуры для синтеза перспективных веществ с последующими экспериментальной проверкой и продвижением в технологию и лечебную практику.

При современном развитии НМ и компьютерных технологий появилась возможность обрабатывать настолько большие массивы неоднородной информации и проводить систематический поиск аналогов и элементов конструирования, что можно использовать не только реальную, но и в большей степени виртуальную продукцию, которая по объему в принципе неисчерпаема.

Для этого уже существуют и создаются новые специализированные компьютерные системы, предназначенные для генерации виртуальных ТО, предлагаемых и как товар, и как исследовательский материал для дальнейшего целевого использования [9]. Отсюда родилась реальная потребность в методиках компьютерного конструирования ТО «под заказ» или как информационных единиц в банках данных. И как следствие, появилась возможность конструирования объектов (особенно в химии) с некоторыми ожидаемыми свойствами.

Создание компьютерной методики конструирования ТО с использованием НМ включает примерно следующий маршрут:

1. Формирование базы данных ТО с учетом специфики их назначения.
2. Анализ имеющихся в базе данных и формирование статистических образов ТО.
3. Отбор простых и постепенно усложняющихся элементов конструирования.
4. Формирование набора базовых конструкций и элементов конструирования.
5. Разработка модуля конструирования.
6. Разработка модуля диагностики технических решений.
7. Компьютерное конструирование.
8. Диагностика созданных конструкций.
9. Экспериментальная проверка.

Можно отметить также следующее. Формирование базы данных осуществляется из информации о нашедших применение в промышленности ТО. При этом они могут различаться по виду, по технологической функции, по уровню «активности», новизны, полезности, экономичности и т.д., как указано выше. ТО при этом собираются в классы.

С точки зрения математики и программирования каждый параметр ТО можно рассматривать как независимую переменную, и тогда вся их совокупность образует

некоторое  $m$ -мерное пространство, в котором ТО представлен точкой. Класс ТО формирует множество точек, представляющих собой некоторую ограниченную область пространства. Такая геометрическая интерпретация позволяет представлять набор ТО в виде НМ и сравнивать любое их количество с построенным статистическим образом и вычислять индекс схожести, в наиболее частом случае, путем сравнения, скажем, евклидова расстояния от точки до центра тяжести области [6]. Можно использовать и другие функции [5].

В обобщенном варианте это выглядит примерно так. Пусть, например, для некоторого ТО  $s$  задан вектор его параметров (свойств)  $a=(a_1, a_2, \dots, a_m)$ , а на основе некоторого класса соединений  $S$  создан его статистический образ  $A$ . Причем,

$S=\{s_i | i = \overline{1, n}\}$ ,  $a_i=(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im})$  – вектор параметров ТО  $s_i$ ,

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1m} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & a_{nm} \end{pmatrix}.$$

Определим меру близости  $\rho(a, A)$  объекта  $s$  к классу  $S$ . Для этого будем использовать расстояние  $\rho$  от  $a$  до центра тяжести  $A$ :

$\rho(a, A)=|a-c|$ , где  $c$  – вектор центра тяжести  $A$ .

Зададим вес  $p_i$  для  $s_i$ , тогда  $c_j = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^n a_{ij} p_i$ , где  $p = \sum_{i=1}^n p_i$ .

Чем меньше значение  $\rho(a, A)$ , тем выше вероятность принадлежности объекта  $s$  классу  $S$ . Таким образом, оценивается вероятность принадлежности ТО данному классу.

Из полученной информации можно рассчитать также вероятность принадлежности к заданному классу отдельных параметров (элементов), из которых конструируется ТО. Отбираются те элементы, у которых эта вероятность высока, и формируется из них библиотека элементов конструирования. Далее выбирается элемент с заданной вероятностью, принадлежащий к выбранному классу, и присоединяется к базовой структуре способами, не противоречащими теории конструирования данного ТО. Потом производится оценка его свойств, как это показано в разделе прогнозирования свойств ТО.

Для дальнейшей работы берется наилучший результат. Если результат оказывается лучше, чем у предыдущей базовой конструкции, то тогда в качестве базовой принимаем вновь построенную конструкцию, иначе возвращаемся к предыдущей, а элемент конструирования исключаем из библиотеки. Так продолжаем до тех пор, пока не:

- достигнута заданная вероятность принадлежности конструируемого ТО к желаемому классу;
- достигнут заданный (предельный) порог сложности ТО;

- исчерпана библиотека элементов конструирования.

### **Заключение**

В данной статье приведено мало приложений для рассмотренных методик. Некоторые из них можно найти в работах, посвященных применению НМ в химии и химической технологии и экологии [7], другие находятся в стадии становления [6]. Надеюсь, что развитие представлений о НМ, представленное в настоящей статье, будет способствовать распространению НМ в различных отраслях науки и техники, особенно связанных с проблемами управления сложными техническими системами, для выработки компромиссных решений, обеспечивающих их оптимальное функционирование. Развитие прикладных возможностей использования НМ помимо уже упомянутых известных достижений позволит на количественной основе решать компьютерными средствами широкий круг дополнительных технических задач, связанных с неопределенностью, и создаст условия для генерации новых способов их решения в рамках задач управления сложными техническими системами.

*Выражаю благодарность д.т.н., профессору И.В. Гермашеву и д.х.н. профессору В.Е. Дербишеру за участие в обсуждении научной концепции данной статьи.*

### **Список литературы**

1. Академик [Электронный ресурс] // [http://dic.academic.ru/dic.nsf/eng\\_rus/ранжировка](http://dic.academic.ru/dic.nsf/eng_rus/ранжировка) (дата обращения: 08.09.2013).
2. Бахвалов Н.С. Численные методы (анализ, алгебра, обыкновенные дифференциальные уравнения). – М.: Наука, 1975. – 632 с.
3. Википедия. Свободная энциклопедия. [Электронный ресурс] // <http://ru.wikipedia.org/wiki>. (дата обращения: 08.09.2013).
4. Гермашев И. В. Разработка теоретических и прикладных основ компьютерного прогнозирования свойств органических соединений на примере модификаторов поливинилхлорида: Автореф. дис... канд. техн. наук / Волг. гос. техн. ун-т. – Волгоград, 1998. – 23 с.
5. Гермашев И. В., Дербишер В. Е. Избранные лекции по нечеткой математике и примеры ее применения в химической технологии: учебное пособие / Волг. гос. тех. ун-т, РПК «Политехник». – Волгоград, 2004. – 152 с.
6. Гермашев И. В., Дербишер В. Е., Веденина Н. В., Дербишер В. Е. Определение расчетного индекса экологической опасности веществ методами нечеткой математики // Химическая промышленность сегодня. – 2003. – № 11. – С. 27-34.

7. Кафаров В.В., Дорохов И.Н., Марков Е.П. Системный анализ процессов химической технологии. Применение метода нечетких множеств. – М.: Наука, 1986. – 359 с.
8. Константиновская Л. В. [Электронный ресурс]: // <http://www.astronom2000.info/mipp/>. (дата обращения: 08.09.2013).
9. Планирование синтеза новых веществ для практического применения в условиях нечётких данных / Е.В. Дербишер, И.В. Гермашев, В.Е. Дербишер, Д.С. Патракеев // Известия ВолгГТУ. Серия «Химия и технология элементоорганических мономеров и полимерных материалов». Вып. 10: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – № 4 (107). – С. 59-63.
10. Техно-М. [Электронный ресурс]: // <http://www.tehno-m.com/konstruirovanie>. (дата обращения: 13.10.2013).

**Рецензенты:**

Голованчиков А.Б., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Процессы и аппараты химических производств» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград.

Желтобрюхов В.Ф., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Промышленная экология и безопасность жизнедеятельности» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград.