

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА КАК ЭЛЕМЕНТА РАСПРЕДЕЛЕННОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ

Фомин В.В.

Донецкий национальный университет, физический факультет

E-mail: fom_vic@mail.ru

Abstract

Fomin V.V. Modeling of the human-operator as element of distributed automated control system. Modeling of such important link of automated control systems as the human-operator and his physiological component in particular is considered in this paper. In a basis of model of muscle the formalism of controlled fuzzy dynamic process is fixed. Conditions of process are submitted as fuzzy sets and fuzzy numbers. Two mechanisms of a conclusion on knowledge are considered: a composite fuzzy conclusion (Mamdani-Zadeh) and a situational fuzzy conclusion.

Введение. Совершенствование технических систем и возрастающие технологические возможности по их проектированию и производству приводят к созданию все более интеллектуально сложных технических объектов. На сегодня наиболее представительным классом таких объектов является класс человеко-машин интеллектуального управления и, в частности, класс антропоцентрических систем (АС).

Характерными представителями АС являются транспортные технические средства, управляемые группой людей (операторами) в реальном времени, технологические комплексы в энергетике, нефтяной, химической и других производствах, включающих критические технологии [1-3]. В последнее время интенсивно развиваются новые информационные технологии дистанционного управления техническими и технологическими комплексами через глобальную сеть ИНТЕРНЕТ. Создаются глобальные антропоцентрические системы мониторинга и управления, охватывающие громадные территории в том числе межконтинентальные. [4] Нельзя не упомянуть индустрию игровых приложений. Современные компьютерные игры являются ярким представителем АС, проектирование которых невозможно без использования технологий создания человеко-машинной системы с искусственным интеллектом (ИИ).

АС критичны к управлению: высокие требования к времени реакции исполнения решений, связанных с аварийной ситуацией, способных привести не только к материальным потерям, но и к человеческим жертвам, катастрофе. Поэтому при моделировании систем этого класса обязательным являются исследования на моделях.

Актуальность задачи особенно возрастает для распределенных автоматизированных систем, в которых принимает участие несколько операторов и эффективность решения зависит от согласованности их действий, как по содержанию, так и во времени. Главным звеном в антропоцентрических системах остается человек-оператор.

В статье рассматриваются подходы к моделированию взаимодействия группы операторов во времени.

Основным подходом к решению данной проблемы является метод имитационного моделирования, который позволяет решать задачи исключительной сложности. Исследуемая система может одновременно содержать элементы непрерывного и дискретного действия, быть подверженной влиянию многочисленных случайных факторов сложной природы, описываться весьма громоздкими соотношениями и т. д. [5,6] Но как любой численный метод, этот подход обладает существенным недостатком: решение всегда носит частный

характер. Оно соответствует фиксированным значениям параметров системы и начальных условий. И если применять его к рассматриваемой задаче, то возникает необходимость в использовании вероятностных переменных (например, для задания психологической реакции человека), для которых трудно корректно оценить значение как статистическим путем, так и логическим. При увеличении числа объектов, которые входят в имитационную модель, возрастает сложность, значительно увеличивается трудоемкость подготовки моделей и ужесточаются требования к быстродействию ЭВМ, снижается эффективность имитационного моделирования.

В последнее время широкую популярность получили подходы, основанные на моделировании при помощи сетей: семантических, нейронных, Петри. Сети Петри и их обобщения являются удобным и мощным средством моделирования асинхронных, параллельных распределенных и недетерминированных процессов, позволяют наглядно представить динамику функционирования систем и составляющих их элементов. Свойство иерархического вложения сетей Петри позволяет рассматривать модели различной степени детализации, обеспечивая тем самым необходимую декомпозицию сложных систем и процессов [7]. Но при их использовании возникает та же проблема размерности, большого количества объектов и состояний, которые необходимо обработать за ограниченное время.

Рассмотрим подход к моделированию взаимодействия группы операторов во времени, основанный на аппарате нечётких динамических процессов.

Формальное обсуждение проблемы. В формировании реакции ЧО выделяют две составляющие — физиологическую и психологическую. В статье рассматривается время реакции, обусловленное физиологической составляющей.

Целевое состояние реакции человека-оператора достигается последовательным сокращением определённых групп мышц. В основу модели сокращения отдельной мышцы положим формализм управляемого нечёткого динамического процесса (НДП) [8] в виде уравнения движения

$$\xi_{-i,t} = G(\xi_{-i,t-1}, \xi_{-i,t-2}, \dots, \xi_{-i,t-k}, U_i). \quad (1)$$

где ξ_{-i} - состояние процесса, моделирующее натяжение мышцы в момент времени t ,

U_i - управляющий сигнал, моделирующий команду (нервный импульс), поступающий из центральной нервной системы человека,

G - закон изменения натяжения мышцы.

Время реакция ЧО моделируется, как сумма времён реакций последовательных сокращений групп мышц:

$$T_{-реакция} = \sum_j T_{-j}, \quad (2)$$

где $T_{-j} = \max_{i \in \Theta_j} \{t_{-i}\}$; Θ_j - j -я группа мышц, t_{-i} - нечёткое время сокращения i -й мышцы.

Время t_{-i} находится из условия, что фактическое натяжение мышцы нечётко достигло целевого $\xi_{-i}^t \subseteq \Omega_{-i}$, где Ω_{-i} - нечеткая область целевых состояний мышцы для заданной реакции.

Модель сокращения мышцы. Для моделирования процесса, согласно (2), необходимо решить вопрос о способе представления состояний НДП и механизме нечеткого вывода. В данной работе исследуются эти вопросы.

Состояния процесса (1) зададим на универсальном множестве, представляющем относительную шкалу «процент натяжения мышцы от максимально зафиксированного в экспериментах»: $\Xi = \{0,1,2,\dots,98,99,100\}$.

Рассмотрено два типа представления состояний процесса (1) – в виде нечетких множеств [9,12,13] и нечетких чисел [9,12,13] и, соответственно, две формы представления закона G НДП в виде совокупности нечетких правил базы знаний.

Для нечетких множеств нечеткие правила примут вид:

$$\text{ЕСЛИ } \xi = S \text{ И } \dots \text{ И } \xi = S \text{ И } U = u \text{ ТО } \xi = S$$

Для нечетких чисел:

$$\text{ЕСЛИ } \xi = S \text{ И } \dots \text{ И } \xi = S \text{ И } U = u \text{ ТО ИЗМЕНИТЬ НА } S$$

Моделирование динамического процесса (1) осуществляется путём вывода на знаниях. Исследовано два механизма вывода на знаниях.

Классический *композиционный нечеткий вывод* [9], согласно которому по каждому правилу из базы знаний находится нечеткое множество ξ_{t+1} по формуле $\mu_{\xi_{t+1}}(k) = \min(\mu_{S_j}(k), \mu')$, где $\mu' = \max[\min(\mu_{\xi_t}(k), \mu_{S_j}(k))]$; S_j – эталонное состояние-предпосылка (нечеткое множество поля «ЕСЛИ» правила); S_j – эталонное состояние-заключение (нечеткое множество поля «ТО» правила); ξ_t – нечеткое множество, задающее текущее состояние процесса на t -м шаге моделирования; а затем полученные подмножества объединяются.

Ситуационный нечеткий вывод [10,11], согласно которому просматриваются все правила из базы знаний и выбирается наиболее близкое к текущему состоянию процесса. Состояние-заключение выбранного правила является новым состоянием процесса. Для оценки близости двух нечетких множеств использовано относительное расстояние Хэмминга [12]: $d(\xi_t, S_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |\mu_{\xi_t}(k) - \mu_{S_i}(k)|$.

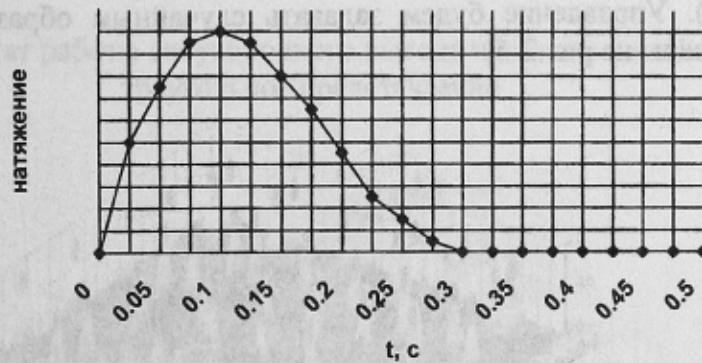


Рис.1. Сокращение мышцы под воздействием одиночного импульса.

В качестве объекта моделирования выбрана мышца, которая под воздействием нервного импульса (управляющий сигнал) сокращается по закону, полученному экспериментальным путём и представленному на рис.1. Рассмотрим функционирование мышцы во времени (изменения состояния мышцы и управляющего сигнала происходят в дискретные моменты времени). Множество возможных состояний полученных экспериментально, показаны точками на рис.1. Состояния выбраны таким образом, чтобы они были различимы в нечётком смысле и выступали в качестве опорных точек, отражающих характер зависимости натяжения волокна во времени. При моделировании также учитывались следующие физиологические особенности [14,15]:

мышца сокращается, если пришел нервный импульс; нервные импульсы, приходящие в течение фазы сокращения (на рис.1, соответственно, это в $t=[0,05..0,25]$), не влияют на сам процесс сокращения; процесс сокращения под воздействием нервного импульса может быть возобновлен на фазе расслабления (на рис.1 это состояния в $t=[0,25..0,3]$).

Формы представления состояний НДП. Рассмотрены следующие формы представления НДП. *Нечеткие множества.* Рассмотрено два способа задания функций принадлежности нечетких множеств: колокообразная (показательная функция) и треугольная формы (линейная функция) [12,13].

Для колокообразного представления функции принадлежности нечетких множеств задаются при помощи показательного закона:

$$\mu_{s_j}(k) = e^{-\frac{(k-j)^2 \cdot \pi}{kof}}$$

где $k=0..100$ – натяжение волокна в процентах, полученное в процессе измерений; kof – коэффициент размытия (первоначально $kof=40$, но может быть изменен).

Функция принадлежности для *треугольного представления* задается с помощью линейных функций:

$$\mu_{s_j}(k) = \begin{cases} (k-j)/kofl+1, & \text{если } -1 \cdot kofl \leq (k-j) \leq 0 \\ (-k+j)/kofl+1, & \text{если } -1 \cdot kofl0 \leq (-k+j) < 0 \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}$$

где $k=0..100$ – натяжение волокна в процентах, полученное в процессе измерений; $kofl$ – коэффициент размытия (первоначально $kofl=10$, но может быть изменен).

Коэффициенты kof , $kofl$ выбираются исходя из того, что соседние состояния должны различаться с уверенностью больше 0,5 и основания функций принадлежности соседних состояний должны иметь общее основание, которое относится основанию состояния как 3:4 [13].

Рассмотрим результат моделирования на интервале времени, равном 50 тактов времени (1 такт = 0,05 с). Управление будем задавать случайным образом. Результаты работы выводов представлены на рис.2-5.

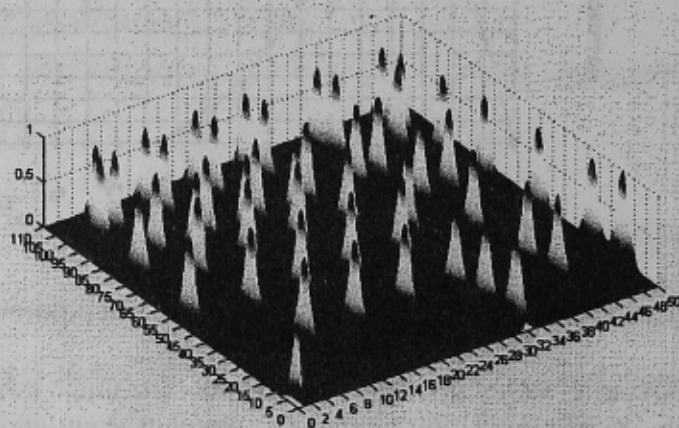


Рис.2. Результат работы ситуационного вывода нечетких множеств, имеющих колокообразное представление

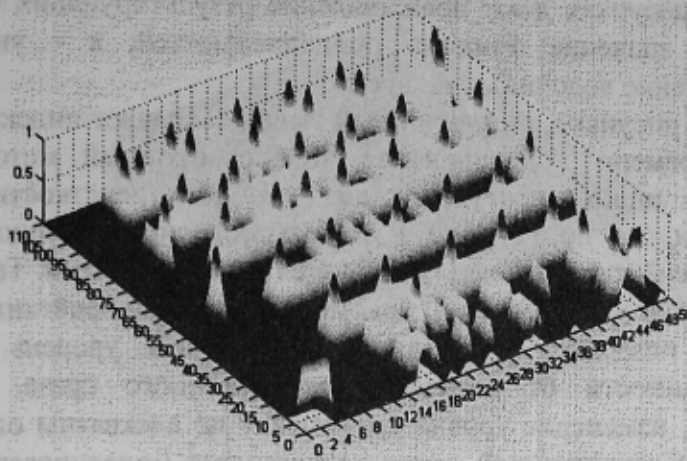


Рис.3. Результат роботи композиційного вивода нечетких множин, існуючих колокообразное представлення

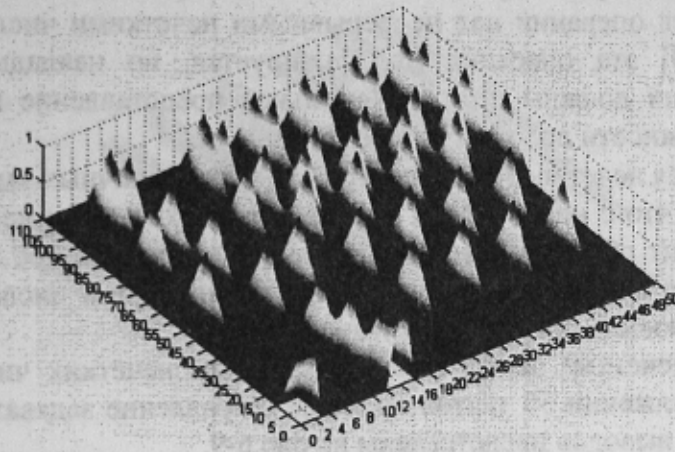


Рис.4. Результат роботи ситуаційного вивода нечетких множин, існуючих трикутне представлення

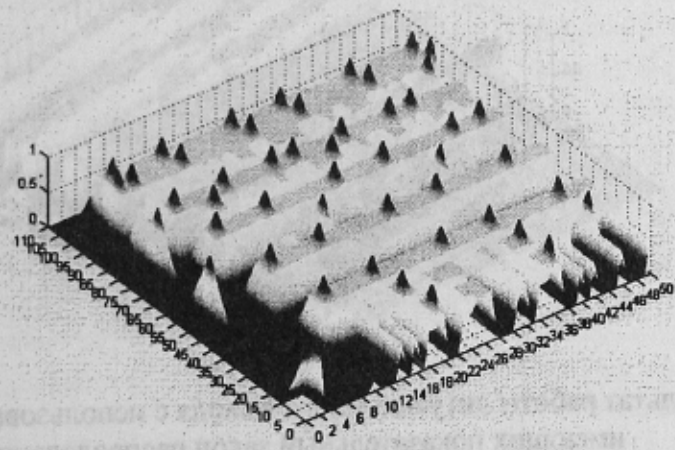


Рис.5. Результат роботи композиційного вивода нечетких множин, існуючих трикутне представлення

Графики на рисунках дают представление результирующих нечётких подмножеств в координатах: z - значение функции принадлежности; x - универсальное множество (процентное натяжение волокна) и y - время.

Как видно из рисунков, ситуационный вывод сохраняет индекс нечёткости [12,13] и он не зависит от времени моделирования. Композиционный метод вывода «зашумляет» состояния, доводя индекс нечёткости до 1. Индекс нечёткости состояний зависит от интервала времени, на протяжении которого моделируется процесс и начиная с 8-10 временного шага нечёткие состояния становятся неразличимыми. Таким образом, оба метода имеют принципиальные недостатки для моделирования нечётких временных процессов. Композиционный позволяет моделировать различный уровень «размытия» состояний процесса в зависимости от отдалённости временного среза, которому принадлежат состояния. Однако, изменение уровня «размытия» не адекватны ожидаемым результатам и здравому смыслу. Ситуационный метод не позволяет моделировать изменения нечёткости состояний в зависимости от времени (между моментом контроля состояния и модельным моментом времени). Нечёткость состояния сохраняется во времени, что также не соответствует здравому смыслу.

Нечеткие числа. Существует несколько методов работы с нечеткими числами.

В [9] вводятся операции над непрерывными нечеткими числами на основе принципа обобщения. В [13] эта операция модифицируется, но накладываются ограничения на нечеткие числа (они должны иметь треугольное представление и максимальный элемент функции принадлежности должен быть равен 1).

В [12] вводятся нечеткие числа, построенные на различных законах. Достоинством этих чисел является то, что с ними можно работать на верхнем уровне как с обычными целыми числами, а в момент обработки можно развернуть их в нечеткое множество. Недостатком, что числа задаются специальным образом и с увеличением числа максимальный элемент функции принадлежности значительно уменьшается.

Исследован нечеткий вывод с использованием нечётких чисел на основе принципа обобщения на протяжении 50 тактов времени. Управление задавалось случайным образом. Результаты работы выводов представлены на рис.6-9.

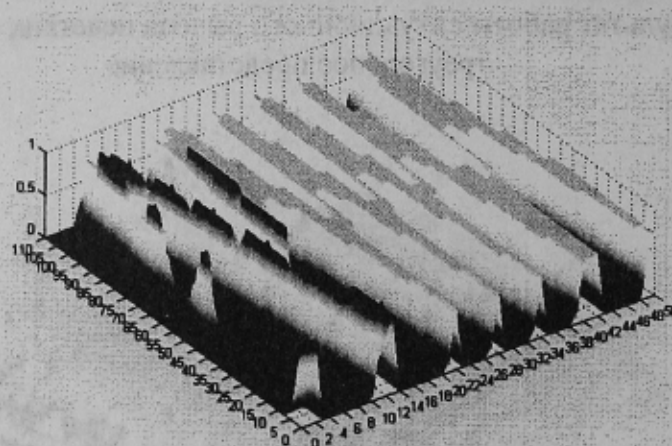


Рис.6. Результат работы ситуационного вывода с использованием нечетких чисел, имеющих показательный закон распределения.

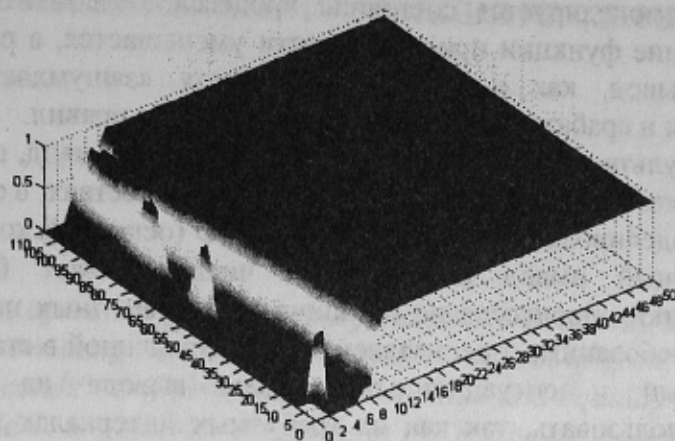


Рис.7. Результат работы композиционного вывода с использованием нечетких чисел, имеющих показательный закон распределения.

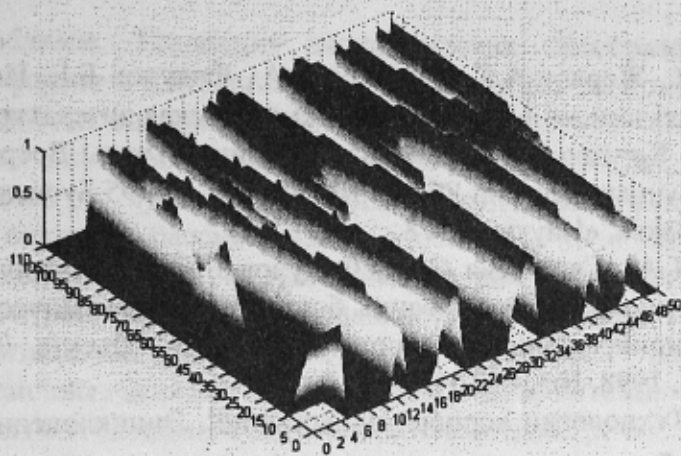


Рис.8. Результат работы ситуационного вывода с использованием нечетких чисел, имеющих треугольное представление.

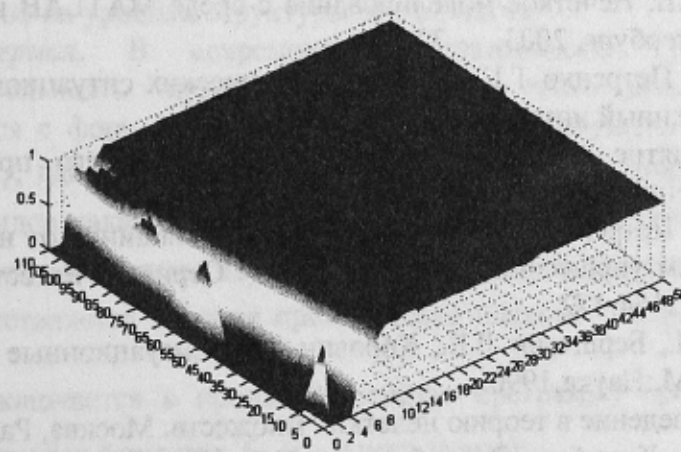


Рис.9. Результат работы композиционного вывода с использованием нечетких чисел, имеющих треугольное представление.

Как видно из рисунков, нечёткий ситуационный вывод характеризуется аналогично как ранее при нечётком выводе на основе нечётких подмножеств: при удалении временного

среза для которого моделируется состояние процесса от момента контроля постепенно максимальное значение функции принадлежности уменьшается, а размытие увеличивается. Композиционный вывод, как и ранее, почти сразу «зашумляет» состояния, за счет увеличения размытия и срабатывания большого количества правил.

Еще одним результатом исследования является то, что вывод, основанный на нечетких числах, медленнее, чем нечеткие выводы на нечетких множествах, в среднем на два порядка.

Вывод. Для моделирования времени реакции ЧО (основной компоненты - сокращение мышцы) ситуационный вывод на нечетких числах может быть использован для моделирования нечетких процессов на ограниченных временных интервалах до 20 тактов, что удовлетворяет требованиям, предъявляемым к поставленной в статье задаче.

Композиционный и ситуационный методы вывода на нечетких множествах нецелесообразно использовать, так как на требуемых интервалах времени накапливаются «шумы» за счет работы большого количества правил, приводящие к неразличимости состояний процесса по нечетким критериям. Эти методы рассчитаны на использование в управлении для однократного вывода на основе входных данных, получаемых от контрольно-измерительной системы.

Литература

1. Васильев С.Н., Жерлов А.К., Федосов Е.А., Федун Б.Е. Интеллектуальное управление динамическими системами. — М.: Физико-математическая литература, 2000.
2. Федосов Е.А. Критические технологии России // Труды Всероссийской конференции Государственных научных центров РФ. — М.: 1995. С. 80-95. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. Москва, «Наука», 1978.
3. Кондрикова Т.А., Савельева С.М., Федун Б.Е. Математическая модель человека-оператора для системного проектирования бортового алгоритмического и индикационного обеспечения функционирования антропоцентрического объекта // Изв. РАН. Теория и системы управления. 1998. №3. С. 164-176.
4. Кульгин М. Технологии корпоративных сетей. Энциклопедия - СПб.: Издательство «Питер», 1999. - 704 с.
5. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. Москва, «Наука», 1978.
6. Авен О.И., Коган Я.А. Математические модели сложных вычислительных систем. Автоматика и телемеханика, №1, 1971.
7. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. — Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2003. — 736 с.
8. Каргин А.А., Петренко Т.Г. Модели динамических ситуационных интеллектуальных машин. — Искусственный интеллект. — 1999. — №2.
9. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. Москва, Мир, 1976.
10. Каргин А.А., Петренко Т.Г. Интеллектуальные машины: от нечетких регуляторов до ситуационных систем управления//Вестник ДонГУ. Серия А. Естественные науки. Донецк: ДонГУ, 1998, №2.- С.164-172.
11. Мелихов А.Н., Берштейн Л.Е., Коровин С.Д. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. -М.:Наука,1990.
12. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. Москва, Радио и связь, 1982
13. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования. Рига, Зинате, 1990
14. Фицнер Л.Н. Биологические поисковые системы. Москва, Наука, 1977.
15. Грин Н., Стаут У., Тейлор Д. Биология в 3-х томах под р. Сопера Р. Т.3. Москва, Мир, 1990.