

На правах рукописи

НИКОЛАЕВ Александр Юрьевич

**«НЕЙРОНЕЧЕТКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМАХ ОЦЕНКИ
РЕСУРСОВ»**

Специальность: 08.00.13 – Математические и инструментальные методы
в экономике

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата экономических наук

Санкт Петербург – 2006

Диссертация выполнена на кафедре «Теория организаций» Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет».

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ: кандидат экономических наук,
профессор Лебедев Виталий Олегович

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ: доктор экономических наук,
профессор Силкина Галина Юрьевна

кандидат экономических наук
Никишин Евгений Сергеевич

ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ: Новгородский государственный
университет

Защита состоится «_____» _____ 2006 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета Д 212.229.23 в ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по адресу: 195252, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.9 (III учебный корпус, ауд.506).

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

Автореферат разослан _____ 200__ г.

*Ученый секретарь Диссертационного Совета,
кандидат экономических наук,
доцент*

Сулоева С.Б.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы диссертационного исследования. Важной тенденцией развития экономики России является совершенствование форм управления ресурсами, важнейшим из которых является земля. Создание системы государственного учета и регистрации земли и недвижимости – это основа развития фискально – правовой системы государства, обеспечивающей сохранение общественной стабильности и укрепление национальной экономики. Предлагаемые в настоящее время законопроекты и государственные программы предусматривают переход к использованию кадастровой стоимости объектов недвижимости как налоговой базы, рассчитанной методами массовой оценки на основе сбора и анализа сведений о рынке недвижимости и факторов на него влияющих. Этот переход позволит упорядочить распределение налоговой нагрузки.

Характерной чертой рыночного механизма является значительная неопределенность его характеристик и одной из актуальных задач становится разработка методов оценки в условиях неопределенности и нечетких параметров.

В связи с важностью земельных ресурсов, исследование моделей оценки ресурсов в условиях неопределенности рыночных факторов и нечеткости их описания было выполнено на примере локального земельного рынка.

Существенная особенность экономического анализа и оценки состоит в том, что объекты анализа обладают уникальными чертами, что увеличивает неопределенность, которая заключается в следующем:

- нечеткость количественных оценок объекта;
- нечеткость качественного описания;
- нечеткая логика принятия решений.

Предлагаемые на современном этапе методики оценки имеют достаточно жесткий алгоритм, в котором параметры оценочной модели уже определены. Это приводит к недостаточному учету качественных характеристик.

Привлечение экспертов должно устранять этот недостаток, однако, излишняя жесткость оценочных методик приводит к тому, что эксперт, по существу, исполняет тривиальную функцию сбора и ввода данных, полученных в результате измерений. Данное обстоятельство снижает достоверность оценки.

В условиях недостатка информации возрастает важность задачи разработки методов управления, позволяющих эффективно использовать опыт и знания экспертов в предметных областях.

Знания эксперта являются уникальным продуктом творческого осмысления полученного им образования, результатов его многолетнего труда и зачастую являются незаменимыми для оценки сложных, многоплановых явлений и прогнозирования их развития. Однако эксперт не всегда может количественно интерпретировать свою оценку объекта исследования. Зачастую его отношение выражается в терминах естественного языка и плохо поддается формализации.

Вышеизложенное позволяет заключить, что проблемы оценки не решены в достаточной степени и требуют активного внимания. Возникает необходимость исследования двух проблем:

- Первая заключается в выработке таких методов оценки, которые более полно и объективно учитывали бы особенности объекта и сложившейся конъюнктуры;
- Вторая заключается в разработке методов поддержки принятия решений, которые наиболее полно учитывают накопленные знания.

Современная наука и вычислительные технологии предлагают математический аппарат для моделирования затронутых выше проблем. Этот аппарат включает в себя методы идентификации объектов в условиях неопределенности в нечетком нейросетевом логическом базисе, которые в свою очередь основаны на теории нечетких множеств и теории искусственных нейронных сетей.

Все вышеизложенное послужило основанием для проведения исследования и разработки концепции и методов оценки ресурсов в условиях неопределенности на основе нечеткого нейросетевого логического базиса.

Цель исследования состоит в разработке, обосновании и проверке методических основ отображения рыночных процессов в условиях неопределенности среды и нечеткости экспертного описания системы в виде математических, информационных и компьютерных моделей.

Задачи работы:

- Разработка методов формального представления экономической системы в условиях нечетких описаний ее параметров и нечеткой логики принятия решений;
- Разработка методов и средств аккумуляции знаний о развитии экономической системы в условиях ее нечеткого описания;
- Разработка имитационной адаптивной модели для анализа и оценки экономической системы в условиях нечеткой информации;

- Разработка действующего прототипа экспертной системы и экспериментальная проверка предложенных методов, моделей и средств анализа и оценки экономических систем на реальных данных локального рынка.

Объект исследования: Региональный рынок недвижимости и земельных ресурсов.

Предмет исследования: Теоретические проблемы и практические аспекты модельного представления системных взаимосвязей и процессов на рынке ресурсов в условиях неопределенности и нечеткой информации.

Методологической и теоретической основой исследования составляют труды отечественных и зарубежных ученых по проблемам математического моделирования экономики, теории искусственного интеллекта, экономики недвижимости и землепользования (Недосекин А.О., Штовба С.Д., Дли М.И., Голунов Р.Ю., Минаев Ю.Н., Филимонова О.Ю., Лиес Б., Заде Л., Беллман Р., Пенроуз Р.). При решении поставленных задач использовались методы математического анализа, теории информации, прикладной статистики, эконометрики, теории нечетких множеств, теории нейронных сетей.

Информационная база исследования: информационные базы группы компаний «ВИЗИР, ФКЦ «Земля», КУГИ Псковской обл., ФГУ «Кадастровая палата по Псковской обл., земельного комитета и комитета по архитектуре Великолукского района.

Наиболее существенные результаты и научная новизна заключается в разработке математических и инструментальных методов анализа, идентификации и оценки экономической системы, в условиях неопределенности, нечетких данных и нечеткой логики принятия решений, а именно:

- На примере моделей оценки, исследованы и обоснованы теоретические возможности отображения рыночных процессов в условиях неопределенности на нечетком нейросетевом логическом базисе;
- Теоретически обоснован и практически реализован метод свертки многомерного пространства признаков объекта в компактное пространство меньшей размерности входного вектора адаптивной экспертной системы с применением процедуры нечеткого логического вывода;
- Предложен, основанный на последовательном совместном использовании системы нечеткого логического вывода и нечеткой нейронной сети, метод экономико-математического моделирования;
- Разработана комплексная методика и структурный алгоритм сбора и обработки нечетких данных и сведений качественного характера при анализе и оценке экономических систем и методы их формального представления;

- Разработана система поддержки принятия решения эксперта в области оценки в условиях неопределенности и нечеткого описания параметров объекта оценки с целью повышения эффективности анализа экономической системы;
- Разработан действующий прототип адаптивной экспертной системы оценки, включающей в качестве составной части, знания эксперта, выраженные в терминах естественного языка. Разработанная экспертная система использует элементы искусственного интеллекта для своего обучения на основе знаний эксперта, последующей обработки поступающей информации, выработки и аккумуляции новых знаний в предметной области;

Практическая значимость исследования состоит в том, что:

- Предложенная модель позволяет повысить эффективность экономической оценки, за счет аккумуляции знаний, выраженных на языке, близком к естественному, более эффективному их использованию и адаптации к изменяющимся рыночным условиям;
- На основе предложенной модели могут быть построены практические экспертные системы поддержки принятия решений в области проведения экономического анализа, оценки, прогнозирования и маркетинговых исследований в реальных рыночных условиях неопределенности и нечеткой информации.
- На базе разработанной экономико-математической модели, с использованием рабочего прототипа экспертной системы проведено моделирование зависимости цен на локальном земельном рынке от различных параметров, имеющих нечеткое описание.

Апробация результатов исследования:

Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены:

- на научных семинарах и заседаниях Международной высшей школы управления СПбГПУ, Санкт – Петербург;
- на 6-й и 7-й международных научно-практических конференциях «Экономика, экология, и общество России в XXI столетии» С-Пб: СПбГПУ, 2004-2005 г.;
- на заседании Государственной аттестационной комиссии при аттестации автора на право ведения профессиональной оценочной деятельности в Государственном университете землеустройства, г. Москва, 2005 г.;

Положения, результаты, методика и экспертная система, предложенные и разработанные в результате исследования используются при разработке землеустроительной политики и маркетинговых решений группы компаний «ВИЗИР» и в профессиональной оценочной деятельности.

Выполненное исследование соответствует п.п. 1.4; 2.3; 2.8 Паспорта специальности 08.00.13 – Математические и инструментальные методы экономики».

II. Основное содержание исследования

В соответствии с целями и задачами исследования в работе рассматриваются две основные группы проблем:

Первая группа проблем заключается в исследовании источников неопределенности при анализе и оценке экономической системы и определении формы наиболее адекватного описания ее параметров.

Если рассматривать рынок как систему, то неопределенность является одной из ее характеристик. С этой точки зрения возможность потерь непосредственно связана с неопределенностью, которая носит неустранимый характер и возникает в силу невозможности учета всех факторов, воздействующих на рыночную среду. В таких условиях, даже хорошо разработанный математический аппарат прогнозирования может приводить к нестабильным решениям, которые сильно зависят от малейших изменений величин действующих факторов и могут привести к ошибкам в оценке текущего или будущего состояния системы.

Существующие методы учета неопределенности основаны на применении в анализе классических статистических методов, встроенных в методики оценки.

Классическое понимание вероятности заключается в том, что при многократном независимом повторении при равных условиях некоторого эксперимента относительная частота случайного события приближается к некоторой величине, которая и называется вероятностью. И до тех пор, пока это положение действует, оно может рассматриваться как объективный закон, устойчивость которого определяется опытом, и на основании этого можно заключить, что математическая вероятностная модель удовлетворительно воспроизводит те черты реальности, в которой некоторые неопределенные ситуации подвержены количественным закономерностям.

Однако, экономические события и условия, на фоне которых они происходят, часто не обладают устойчивой повторяемостью. Поэтому применение аппарата теорий вероятности и математической статистики, в этом случае может столкнуться с серьезными проблемами. Дело в том, что вероятность не является характеристикой единичного события, она описывает некоторое множество событий, называемое генеральной

совокупностью статистически однородных случайных событий. В ряде случаев классический анализ неопределенности не представляется возможным, ввиду того, что поведение объекта не может быть связано с поведением однотипных объектов, а состояние среды не может расцениваться как типичное. Другими словами объекты выборки из генеральной совокупности не обладают свойством статистической однородности, а случайное поведение среды не обладает устойчивыми параметрами, и не существует возможности выдвижения устойчивых статистических гипотез, которые могли бы быть подтверждены.

Неклассические вероятности, не имеющие четкого частотного смысла, отражают мнение субъекта относительно возможности тех или иных альтернатив и определяются его способностью выдвигать определенные гипотезы, не основанные на наблюдении за системой в неизменных или сходных условиях.

Применение аппарата теории нечетких множеств (ТНМ) позволяет разграничить такие понятия, как вероятность и возможность, случайность и предрасположенность.

Существенным преимуществом аппарата ТНМ является то, что, оставаясь на принципах строгой математической логики, можно оперировать нечетко определенными входными параметрами и определять выходные параметры хотя и в некотором диапазоне значений, но с достаточной степенью обоснованности. Сильной стороной ТНМ является также возможность количественной интерпретации качественных факторов выраженных в терминах естественного языка.

Согласованность между уникальностью объектов экономического анализа и их качественной однородностью достигается путем применения операторами рынка следующей модели: воздействие на два, абсолютно неразличимых в рамках данной модели объекта, различными по величине и составу комплексами факторов, делает эти объекты уникальными.

Данное обстоятельство позволяет формализовать процедуру оценки.

Если рассматривать состояние объекта, с точки зрения оценки через совместное влияние ценообразующих факторов, то его можно выразить следующим образом:

$$C_m(x_1 \dots x_n) = \sum_{j=1}^n k_{mj} f_{mj}(x_1 \dots x_n), \quad (1)$$

где:

- m – вид стоимости;
- C_m – оценочная стоимость;
- x_n – ценообразующий фактор;

k_{mj} – весовой коэффициент вклада стоимости j – го ценообразующего фактора в m -ю оценочную стоимость;

$f_{mj}(x_1 \dots x_n)$ – функция стоимости j -го фактора для m – го типа стоимости.

Предполагается, что на вид функции f_{mj} оказывают влияние все, учитываемые моделью факторы.

Количество учитываемых факторов теоретически может быть бесконечно, однако на практике, пространство признаков свернуто в достаточно компактное фазовое пространство основных факторов, базис и размерность которого зависит от целевого назначения объекта оценки.

Многие параметры, используемые в оценке, обладают нечеткостью, т.е. их точные значения неизвестны. Некоторые факторы имеют лингвистическое описание, которое сложно перевести в параметрическую форму, или провести их четкую классификацию. Это обстоятельство ведет к тому, что появляется неустранимая информационная неопределенность. Существующие методики оценки предлагают алгоритмизированные процедуры для различных ситуаций. Однако они не учитывают того факта, что в основе решения аналитика лежат его *субъективные* мнения о состоянии и перспективах развития системы «Объект-среда». Например, анализируя возможности инвестиций в региональную недвижимость, оценщик оперирует такими лингвистическими описаниями как: «*Возможность потерь в данном регионе достаточно высока, поэтому ставку капитализации, скорее всего, необходимо увеличить на несколько пунктов. С большой степенью уверенности можно предположить, что добавка должна лежать в пределах 3-5%».*

Математический аппарат, предлагаемый ТНМ, предназначен для операций с такого рода описаниями. Эта теория предлагает методы построения функциональных соответствий между нечеткими лингвистическими описаниями (высокий, теплый и т.д.) и измеряемыми параметрами (высота, температура). Указанные функциональные соответствия носят названия функций принадлежности и выражают соответственно, степень принадлежности величины измеряемых параметров лингвистическим описаниям.

Задачу экономической оценки в условиях неопределенности можно сформулировать как поиск модельного оператора $F^m[x]$ из некоторого класса, который наиболее лучшим образом аппроксимирует реальный оператор $F[*]$, действующий на указанных множествах значений экономических параметров различных объектов. Основное уравнение модели:

$$y(k) = F^m[\bar{x}(k)], \quad \text{где:} \quad (2)$$

k – номер объекта в выборке;

$y(k)$ и $\bar{x}(k)$ - стоимость и входные параметры k -го объекта;

$\bar{x}(k) = \{x_j(k)\}$, $j = 1 \dots J$; $y(k) = \{y_k\}$ - некоторые множества, которые в общем случае могут быть нечеткими:

$$\bar{x}_j \stackrel{\text{def}}{=} \left\{ x_j^p / \mu(x_j^p) \right\}, p = 1 \dots P; \quad \mu(x_j^p) \rightarrow [0,1] - \text{функции принадлежности, которые}$$

определяют субъективную вероятность принадлежности x_j^p к x_j . Аналогично

определяются функции принадлежности выхода:

$$y \stackrel{\text{def}}{=} \left\{ y^p / \mu(y^p) \right\}; p = 1 \dots P; \quad \mu(y^p) \rightarrow [0,1]. \quad (3)$$

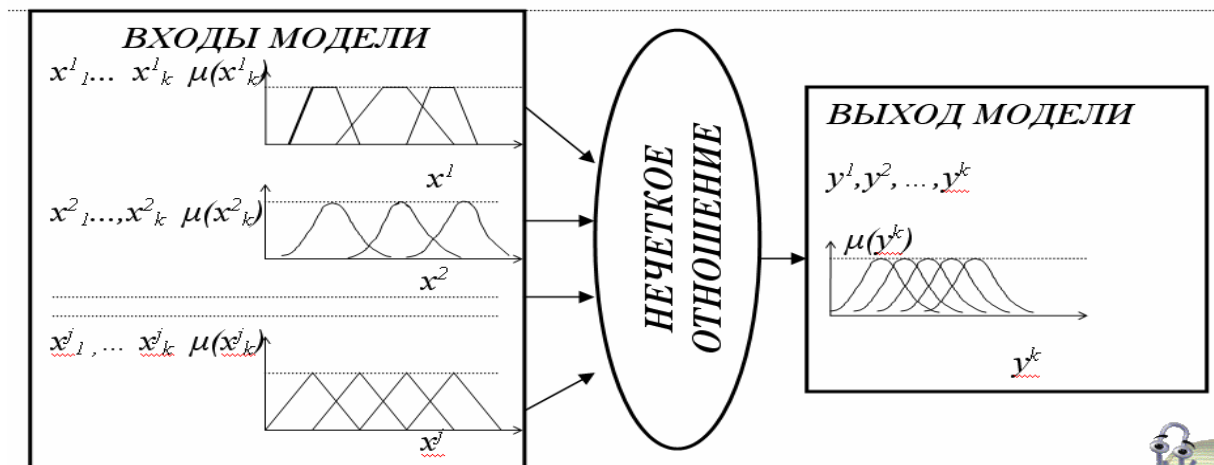


Рис. 1 Общая схема модели оценки в условиях неопределенности

Одна из постановок задач определения оператора $F^m[*]$ заключается в том, что выбирается оператор из множества, границы которого определены «возможностью» и «необходимостью». В случае задачи оценки данные «входы-выход» имеют вид:

$$(X_k, Y_k) = (x^1_k, \dots, x^j_k, Y_k), k = 1, \dots, K \quad (4)$$

Интервал выхода может иметь некий центр y_k и радиус e_k , т.е.

$$Y_k = (y_k, e_k), \quad (5)$$

В этом случае модели «возможности» и «необходимости» представляются следующим образом:

$$\begin{cases} \forall k = 1, \dots, K; \\ Y^*(x_k) = A_0^* + A_1^* x_{k,1} + \dots + A_j^* x_{kj} \\ Y_*(x_k) = A_{*0} + A_{*1} x_{k,1} + \dots + A_{*j} x_{kj} \end{cases} \quad (6)$$

где A_k^* и A_{*k} интервалы возможного и необходимого.

В общем случае ограничения на выбор оператора можно записать:

$$\text{if } A_{*i} \subseteq A_i^* \text{ then } Y_*(x_j) \subseteq Y^*(A_i) \quad (i = 0, 1, \dots, I)$$

Применение матаппарата ТНМ и нечеткой логики требует:

- определение лингвистических переменных;
- Значений «входа-выхода», определенных как нечеткие множества;
- адекватный выбор функций принадлежности;
- описание простых соотношений между переменными на основе нечеткой логики «if-then-else» правил;
- формулировку модельных отношений через алгоритмы нечеткого вывода.

Система правил «if-then-else» для описания модели в общем виде представляется следующим образом:

$$\begin{cases} \text{if } u_l \text{ is } b_{1l} \text{ and... and } u_r \text{ is } b_{1r} \text{ then } v_l \text{ is } d_{1l} \text{ and ... and } v_s \text{ is } d_{1s} \\ \text{also ... also} \\ \text{if } u_l \text{ is } b_{nl} \text{ and... and } u_r \text{ is } b_{nr} \text{ then } v_l \text{ is } d_{nl} \text{ and ... and } v_s \text{ is } d_{ns} \end{cases} \quad (7)$$

где:

$[u_1 \dots u_r]$, $[v_l \dots v_s]$ – соответственно, входные и выходные переменные;

$\{b_{1n} \dots b_{nr}\}$, $\{d_{1l} \dots d_{ns}\}$ – значения входных и выходных лингвистических переменных.

Ограничения на параметры оператора модели, налагаемые утверждением об интервале существования оператора $F[*]$ в границах «возможность-необходимость» отражаются на выборе функций принадлежности. Учитывая все вышесказанное, модель оценки в условиях неопределенности, определенная в нечетком логическом базисе сводится к определению параметров модели, для которой система нечетких логических правил (7) представляется, как система нечетких линейных алгебраических уравнений и может быть записана в векторном виде:

$$\tilde{A}\tilde{x} = \tilde{b} \quad (8)$$

\tilde{A} - Коэффициенты матрицы A являются входом модели;

\tilde{x} – параметры оператора модели, значения которых определяются как нечеткие множества (числа);

\tilde{b} – выходные лингвистические переменные, значения которых определены как нечеткие множества (числа).

Резюмируя вышесказанное, постановка математической задачи для создания экспертной системы оценки основанной на аппарате ТНМ включает:

1. Набор ценообразующих факторов с интервалом их изменения;
2. Лингвистические переменные для нечетко определенных факторов;
3. Экспертно-определенный набор функций принадлежности значений факторов ценообразования к лингвистически определенным переменным;
4. Экспертно определенным набор правил логического вывода.

В настоящей диссертационной работе предлагается такой комплект для построения экспертной системы кадастровой оценки земель поселений.

Вторая группа проблем, заключается в исследовании возможности создания математической модели оценки, с высокой степенью адаптации к изменяющимся условиям реального рынка.

Экспертные системы реализуют логический подход к определению выходов некоторых функций. Используя заранее вложенные в них знания и правила вывода, они представляют собой класс формальных систем, центральным признаком которого является стационарность, т.е. определенному входному вектору по определенным правилам ставится в соответствие единственный и неизменяемый во времени выходной вектор.

Рыночная ситуация постоянно меняется. Причинами ее изменений служат не только нестационарность самих факторов воздействия, но и нестационарность формы зависимости рыночной ситуации от этих факторов.

Применение нейронных сетей в оценке, представляется совершенно естественным в силу эквивалентности формальных представлений рынка недвижимости и задач, которые с успехом решаются применением нейросетей. Формально задачу оценки можно представить следующим образом, пусть:

N – число факторов ценообразования принятых в модели, как значимые;

$n=1, \dots, N$ – номер фактора;

K – число объектов по которым имеются достаточные в рамках модели описания и данные о сделках;

$k=1, \dots, K$ – номер объекта;

x_n^k - значение n -го фактора в описании k -го объекта;

y^k - известная стоимость k -го объекта.

Тогда имеем набор векторов входных значений $X^k=[x_1^k, \dots, x_n^k]$, которому соответствует вектор выходов $Y=[y_1, \dots, y_k]$. Можно предположить, что существует правило F :

$$F : X^k \rightarrow y_k, \quad (9)$$

Требуется, какими либо методами аппроксимировать данную зависимость функцией $g(x_1, \dots, x_n)$ с тем, чтобы:

$$\sup_{x \in U} \|f(X) - g(X)\| \leq \varepsilon, \quad \varepsilon > 0, \quad (10)$$

где:

U – компакт, на котором заданы функции $f(X)$ и $g(X)$;

$\| \cdot \|$ - метрика, заданная на компакте U ;

ε – положительное число, отражающее критерий качества аппроксимации.

После нахождения вида $g(X)$, ее можно использовать для вычисления значений стоимости при векторном аргументе $X^j \neq X^k$, т.е. прогнозировать ее значения для объектов, по которым нет данных о сделках, но существует достаточное в рамках модели описание ценообразующих факторов.

Такое формальное определение оценки полностью эквивалентно формализму теоремы о полноте для нейронных систем, которая гласит, что любая вещественная непрерывная функция может быть аппроксимирована нейронной сетью с конечным числом нейронов.

Главное свойство нейронных сетей состоит в их способности к обучению, что позволяет создавать сети постоянного обучения на данных текущего реального рынка. Экспертная система оценки, совмещенная с обучаемой нейросетью, может стать достаточно адекватной моделью реального рынка, с высокой степенью адаптации к изменениям рыночной среды.

Немаловажным является и то, что работать с нейронными сетями значительно проще, чем с аппаратом математической статистики. Существует огромное количество доступных пакетов – эмуляторов нейронных сетей различных топологий.

Главными недостатками нейронных сетей являются:

- отсутствие строгих обоснований выбора топологии нейронных сетей;
- практическая невозможность анализа обученной нейронной сети, т.е. невозможность извлечения приобретенных ею знаний;
- невозможность внесения априорной информации в необученную нейронную сеть;
- при решении сложных задач, требующих большого количества нейронов, возникает комбинаторный взрыв, что влечет за собой необходимость больших вычислительных ресурсов или времени на обучение;

У систем вывода на нечеткой логике также существуют свои недостатки:

- исходный набор правил постулируется экспертом-человеком, поэтому априори является субъективным, и может оказаться противоречивым;
- параметры функций принадлежности и их вид, также выбираются субъективно и могут быть неадекватны реальности.

Однако в контексте решаемых настоящим исследованием задач оценки решающими являются такие сильные стороны систем с нечеткой логикой как:

- возможность описания условий и методов решения задач на языке, близком к естественному;
- возможность решения задач, которые трудно поддаются формализации;
- возможность решения задач с ненадежными исходными данными;
- возможность решения задач, с исходными данными, описанными в терминах квазистатистики (возможность, предрасположенность и т.д.);
- возможность ввода в систему знаний, опыта и интуиции эксперта *ad hoc*;
- универсальность.

Что касается нейронных сетей, то основными преимуществами перед традиционными статистическими методами, является их высокая способность адаптации к меняющейся ситуации, способность к запоминанию, способность к моделированию поведения сложных, многосвязных и нелинейных систем.

Для частичного решения проблем, связанных с недостатками обеих систем, рядом авторов были предложены так называемые гибридные сети. Структура этих сетей формально идентична многослойным сетям, с известными алгоритмами обучения, но подстройка параметров сети осуществляется на основе правил композиции, разработанных для систем с нечеткой логикой. Так гибридная нейронная сеть с одним скрытым слоем функционирует следующим образом:

- 1-й слой выполняет функцию введения нечеткости на основе заданных функций принадлежности элементов входного вектора;
- 2-й слой отображает множество нечетких правил вывода;
- 3-й слой выполняет функцию вывода (приведения к четкости).

Каждый из слоев характеризуется набором параметров: параметры функций принадлежности, нечетких решающих правил, активационных функций и весов межнейронных связей. Настройка всех этих параметров и производится гибридной нейронной сетью в процессе обучения.

Таким образом, совместное использование систем, основанных на нечеткой логике и нейронных сетях, позволяет построить экспертную систему, хорошо приспособленную к

решению задач в условиях неопределенности, каковыми являются задачи экономической оценки недвижимости и земельных ресурсов в частности.

Как было показано в (8) задача оценки в нечетком логическом базисе сводится к нахождению оператора нечеткой системы линейных алгебраических уравнений:

$$\tilde{A}\tilde{x} = \tilde{b}$$

В реальных задачах необходимо подобрать оператор $F(x)$ на основе имеющихся данных, так чтобы выполнялось условие (11). Если рассматривать данную систему на α -уровнях, то для каждого такого уровня получаем систему четких уравнений. Всего будет k таких систем, по числу компонентов нечеткой переменной. Объединив эти системы получим переопределенную систему четких алгебраических уравнений, размером $(m^k)^x n$, где n – число неизвестных. Если сформулировать такую систему в терминах правил логического вывода, то ее можно записать в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} R_1 : \text{ if } \mu(a_{ij}^1) \leq \mu^{\alpha_1} \quad \text{and } \mu(b_i^k) \leq \mu^{\alpha_1} \quad \text{then } A^{\alpha_1} x = b^{\alpha_1}, \\ \dots \\ R_m : \text{ if } \mu(a_{ij}^m) \leq \mu^{\alpha_k} \quad \text{and } \mu(b_i^k) \leq \mu^{\alpha_k} \quad \text{then } A^{\alpha_k} x = b^{\alpha_k}. \end{array} \right. \quad (11)$$

где $A^{\alpha_k}, b^{\alpha_k}$ - матрицы и вектор правых частей сформированных систем уравнений.

Полученную систему уравнений можно представить в виде четкой системы линейных алгебраических уравнений:

$$Ax = b \quad (12)$$

Одним из методов решений системы алгебраических уравнений является минимизация целевой функции следующего вида:

$$\xi(x) = \sum_{i=1}^m [y_i(x)]^2 \rightarrow \min, \quad \text{где } y_i(\bar{x}) = 0, \quad i = 1 \dots m \quad (13)$$

Если положить $y = Ax - b$, тогда (14) представляется в векторном виде

$$\xi(x) = y^2 = y^T y \rightarrow \min \quad (14)$$

Таким образом основной задачей становится нахождение такого вектора x который минимизировал бы отклонение исходного вектора b от получаемого \hat{b} , т.е

$$\hat{x} = \operatorname{argmin} \{ \xi(x) / x \in E^n \} \quad (15)$$

Такого рода процедуры реализуются нейронными сетями с алгоритмом обратного распространения ошибки.

Разработка и теоретическое обоснование метода свертки многомерного пространства признаков объекта в компактное пространство меньшей размерности

входного вектора адаптивной экспертной системы с применением процедуры нечеткого логического вывода

Одной из проблем непосредственного использования нейронечетких сетей для моделирования сложных экономических процессов является резкое увеличение требуемых вычислительных ресурсов с увеличением размерности входного вектора. В самом деле, если принять размерность нечетких переменных – элементов входного вектора за (n) , размерность входного вектора за (q) , то время вычислений (t) , или в соответствии с принципом Тьюринга, требуемая память (p) будут пропорциональны n^{q+1} , т.е. имеют экспоненциальный рост. Используемые на практике нейронечеткие сети имеют размерность входного вектора не более 5-6 элементов.

Второй проблемой является необходимость значительной по объему обучающей выборки для обучения нейронечеткой сети, в случае если входной вектор имеет высокую размерность.

Кроме того, при большой размерности входного вектора решение уравнения (12) имеет большую вероятность быть неустойчивым, т.е. матрица A может оказаться вырожденной, а накопленные сетью знания в виде порожденных ею правил и параметров функций принадлежности не имеют практической ценности.

Для ослабления этих проблем, предложена процедура использования прямого нечеткого вывода обобщенных экспертных оценок влияния нескольких факторов, сгруппированных в зависимости от контекста задачи. Эта обобщенная оценка затем подается на вход нейронечеткой сети. Размерность такого входного вектора может быть значительно уменьшена. При этом решается еще одна утилитарная задача, а именно производится нормирование пространства входного вектора, таким образом, происходит не только свертка пространства, но и его компактификация, необходимая для функционирования сети.

Для проведения процедуры свертки и компактификации сформулированы несколько эвристик, которые составляют базу знаний и правил. Эти эвристики основаны на утверждении из матричного принципа нечеткой математики:

Среди всех $(n*m)$ элементов матрицы результата не существует другого множества из $(n+m-1)$ элементов, кроме кросс-множества, более всего близкого в информационно-энтропийном смысле к исходному множеству. Доказательство можно получить если подсчитать энтропию $H(n*m)$ всей матрицы c и $H(m+n-1)$ кросс-множества, предварительно пронормировав матрицу таким образом, чтобы:

$$\sum_i \sum_j \mu_{\tilde{c}}(c_{ij}) = 1$$

Общую формулу позволяющую подсчитать энтропию по нечеткости, можно записать в виде:

$$\begin{aligned}
 H(\mu_{\tilde{C}}(c_1), \mu_{\tilde{C}}(c_2), \dots, \mu_{\tilde{C}}(c_q)) &= \frac{-1}{\ln(N)} \sum_{i=q}^N \pi_{\tilde{C}}(c_q) * \ln(\pi_{\tilde{C}}(c_q)) = \\
 &= \frac{1}{\ln(N) \sum_{q=1}^N \mu_{\tilde{C}}(c_q)} \left[\sum_{q=1}^N \mu_{\tilde{C}}(c_q) * \ln \sum_{q=1}^N \mu_{\tilde{C}}(c_q) - \sum_{q=1}^N \mu_{\tilde{C}}(c_q) * \ln \mu_{\tilde{C}}(c_q) \right], \quad (16)
 \end{aligned}$$

$$\text{где } N = \text{card}(\tilde{C}); \quad \pi_{\tilde{C}}(c_q) = \frac{\mu_{\tilde{C}}(c_q)}{\sum_{q=1}^N \mu_{\tilde{C}}(c_q)}$$

Из этого утверждения следует, что при свертке и компактификации пространства исходного вектора признаков объекта методами нечеткой математики (нечеткого логического вывода) получаем вектор в пространстве обобщенных факторов меньшей размерности, информационного наполнения которого достаточно, чтобы представлять объект с необходимой точностью.

Описанные принципы легли в основе разработки прототипа экспертной системы для массовой оценки земель поселений, где изначальное 21-мерное пространство признаков сворачивается в 5-мерное пространство обобщенных факторов градостроительной ценности, которые и подаются на вход нейронечеткой сети в процессе ее обучения и функционирования в режиме вывода.



Рис2. Структура экспертной системы.

Необходимо отметить, что описанная процедура применима лишь к относительно простым системам, и требуются исследования возможностей создания нейронечетких сетей на альтернативной вычислительной парадигме, очевидно основанной на массовом параллелизме вычислений.

Последняя часть диссертационного исследования состоит в разработке прототипа экспертной системы на основе предложенной модели для массовой оценки земель поселений.

Произведена оценка земель поселений в Великолукском районе Псковской области. Количество населенных пунктов, по которым определена стоимость муниципальных земель – 453.

Расчет производился по 21 фактору градостроительной ценности. Выбор факторов градостроительной ценности и формы сбора информации соответствует рекомендациям Федеральной службы земельного кадастра РФ.

Данные об измеримых величинах факторов градостроительной ценности собирались в течение 2001 – 2002 г в процессе официальной кадастровой оценки земель и охватывают все исследуемые населенные пункты.

Данные о сделках с земельными участками собирались в течение 2003 г в процессе профессиональной деятельности диссертанта.

Исследование проводилось в несколько этапов.

1. Сбор исходной информации о рынке и факторах градостроительной ценности;
2. Вывод обобщенных факторов градостроительной ценности на основе нечеткой логики;
3. Обучение нейронной сети на текущих рыночных данных;
4. Определение стоимости земель поселений в конкретных населенных пунктах;
5. Интерпретация полученных результатов и сравнение их с результатами кадастровой оценки.

На первом уровне структуры показатели факторов градостроительной ценности описываются в терминах нечетких множеств. Далее методами нечеткой логики происходит свертка 21 – мерного пространства признаков в 5-мерное пространство факторов. В отличие от статистических методов, здесь не происходит отсечение незначимой информации, а выводятся обобщенные показатели. Третий уровень системы представляет собой правила нечеткого вывода, полученные в процессе обучения нейронечеткой сети на данных рынка.

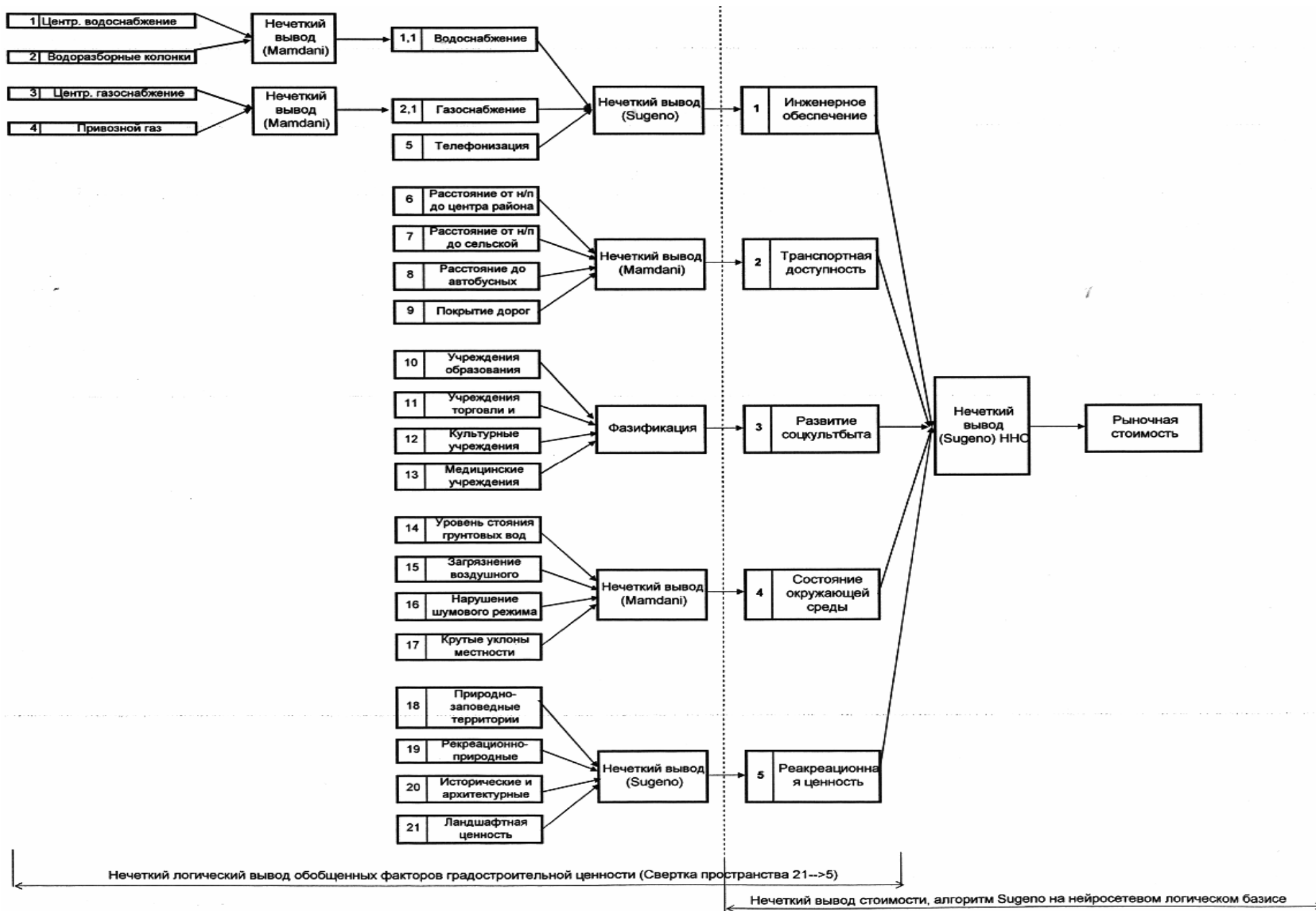


Рис.3. Общая логическая схема экспертной системы оценки земель поселений.

В качестве рабочей среды для создания экспертной системы использовалась программная среда MATLAB 6.1 The MathWorks, Inc., и дополнения: Fuzzy logic Toolbox, Neural Network Toolbox

Дальнейшее исследование состояния рынка, показывает, что при использовании предложенной модели, расхождение между предсказанной ценой и зафиксированной ценой отдельных сделок находится в интервале +/- 25%, при этом расхождение между кадастровой стоимостью и зафиксированной ценой тех же сделок достигают по некоторым населенным пунктам до 120%.

III. Основные выводы по результатам исследования:

1. Существующие методики экономического анализа и оценки, основанные на аппарате математической статистики, не позволяют в достаточной мере учитывать неопределенности, возникающие в результате неясных представлений о составе, величине и взаимосвязях факторов текущего или будущего рынка. Это связано с тем, что классическая статистика определена на множестве однородных явлений, а рынок, на том уровне обобщения, который необходим для оценки, однородным не является.

2. Применение аппарата ТНМ, несмотря на некоторую размытость результатов, позволяет сделать экономический анализ и оценку более доступными для интерпретации, чем традиционные методики. Представление данных о рынке в форме нечетких множеств, а решающих правил в форме нечеткой логики дает возможность приблизить процедуру оценки к типичным интуитивным представлениям участников рынка и выразить резоны эксперта на языке, близком к естественному.

3. Возможность включения знаний эксперта и возможность обучения нейронечетких сетей делает их гибкими, хорошо адаптируемыми к текущим изменениям средствами экономического анализа. Это свойство позволяет на их основе создавать специальные экспертные системы.

4. В моделях экономической оценки большое число параметров может быть сведено методами нечеткого вывода к небольшому числу обобщенных показателей, выраженных в терминах теории нечетких множеств.

5. Периодическое переобучение нейронечеткой сети на основе новой информации, позволяет поддерживать соответствие экспертной системы текущей действительности.

6. Результаты испытаний нейронечеткой модели массовой оценки земель поселений показали ее преимущества перед традиционной. Это выразилось в более высоком уровне соответствия предсказанных цен действительным ценам, достигнутым в фиксированных сделках.

IV. Список опубликованных работ по теме диссертации.

1. Николаев. А.Ю. Прогнозирование себестоимости в условиях широкого ассортимента выпускаемой продукции. // Маркетинг и маркетинговые исследования в России.-2000.- №1(25), С. 2-12., М.: Инфа-Пресс. - 0.8 п.л.
2. Николаев. А.Ю. Аналитическое (формальное) определение систематической составляющей цены риска. /А.Ю. Николаев // Труды 6-й международной научно-практической конференции «Экономика, экология, и общество России в XXI столетии» С-Пб: СПбГПУ, 2004. – с. 100-105. 0.5 п.л.
3. Николаев А.Ю. Методы оценки недвижимости в условиях неопределенности на нечетком нейросетевом логическом базисе /Николаев А.Ю. Великие Луки: - ООО «ВИЗИР», 2005. – 214 с. - 13.5 п.л.
4. Лебедев В.О., Николаев А.Ю. Формулировка задачи оценки недвижимости в нейросетевом логическом базисе. /В.О. Лебедев, А.Ю. Николаев //Труды 7-й международной научно-практической конференции «Экономика, экология, и общество России в XXI столетии».- С-Пб: СПбГПУ, 2005. – с. 273-282 - 0.7 п. л.
5. Николаев. А.Ю. Особенности задач планирования при формулировке в нечетком логическом базисе. /А.Ю. Николаев // Труды 7-й международной научно-практической конференции «Экономика, экология, и общество России в XXI столетии» С-Пб: СПбГПУ, 2005. – с.218-219 - 0.1 п. л.

Общий объем опубликованных работ –15.6 печатных листов.