

**Белорусский государственный экономический университет**

**УДК 330.4**

**Логинов Павел Павлович**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
С НЕЧЕТКО ОПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ**

**08.00.13 Экономико-математические методы**

**Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени  
кандидата экономических наук**

**Минск  
1999**

Работа выполнена в

Белорусском государственном экономическом университете

Научный руководитель - кандидат экономических наук, доцент  
Велесько Е.И.

Официальные оппоненты - доктор экономических наук, профессор  
Акулич И.Л.

кандидат экономических наук  
Пастухов Н.М.

Оппонирующая организация - Белорусский государственный университет

Защита состоится “ 24 ” декабря 1999 г. в 14<sup>00</sup> час. на  
заседании совета по защите диссертаций Д 02.07.03 при Белорусском  
государственном экономическом университете по адресу: 220070, г.Минск,  
Партизанский проспект, 26; тел. 249 – 91 – 70.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского  
государственного экономического университета.

Автореферат разослан “ 24 ” ноября 1999 г.

Научный секретарь

Совета по защите диссертаций М.А.А. (Михалкевич А.П.)

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы диссертации.** Новое качество экономических отношений в нашей стране и мировые тенденции развития информационного общества привели к новому пониманию роли информации как важнейшего ресурса современного предприятия. Полнота и достоверность информации определяет качество оперативных и стратегических решений, что обуславливает рост ее ценности как рыночного товара и требует эффективных технологий хранения, обработки, анализа.

Важной особенностью экономической среды предприятия является *наличие рыночной неопределенности*, и эффективность использования информации зависит от способности применяемых средств анализа учитывать параметры, выраженные неоднозначными количественными или качественными оценками.

Потребность в эффективных инструментах анализа не обеспечивается возможностями традиционных экономико-математических методов, ориентированных на задачи с полностью определенными параметрами, на масштабы централизованного хозяйственного механизма, которые оказываются неприменимы в рыночных условиях. Методы, направленные на получение точного ответа в условиях неоднозначно определенных или качественных параметров, присущих рынку, либо дают неадекватное объекту решение, либо существенно усложняют его поиск, увеличивая временные и вычислительные затраты. Поэтому лица, принимающие решения на предприятии, часто отказываются от применения формальных методов и предпочитают руководствоваться управленческой интуицией.

Отечественная и зарубежная наука располагают необходимыми формальными методами решения проблемы неопределенности, которые успешно применяются в технике и естественных науках. К ним относятся и методы, основанные на использовании Теории нечетких множеств (ТНМ). Формальное описание проблем, направленное на наличие неопределенности и основанное на математическом аппарате нечетких множеств, может широко использоваться и при решении экономических задач. Однако, для этого необходимо *развитие методологической базы*, позволяющей эффективно совмещать накопленный теоретический потенциал в области нечеткого поиска решения с особенностями экономических объектов.

Предлагаемая научная работа опирается на ряд исследований, посвященных проблемам моделирования сложных систем в различных прикладных областях. Это прежде всего работы Беляева Л.С., Петракова Н.Я., Негойц К., Орлова А.И., Орловского С.А., в которых исследуются методы формализации сложных систем и принятия решений в условиях неопределенности, монографии А.Кофмана и Х. Хила Алухи, предлагающие нечеткий инструментальный для решения задач управления предприятием и оригинальные методики его практического использования,

философские труды Верстина И.С. о роли и возможностях нечетких множеств в решении проблемы неопределенности. Теоретические основы формального аппарата ТНМ почерпнуты автором из монографий и пособий Волгина Л.И., Л.Заде, А.Кофмана, Краснопрошина В.В., Лепешинского Н.А., Мелихова А.Н., Бернштейна Л.С., Перегуды А.И., Мальцева Г.В. Прикладные аспекты, приемы и методы нечеткого описания знаний (в основном технических) - из работ отечественных и зарубежных авторов Борисова А.Н., Д.Дюбуа, Р.Ягера, Т.Тэрано, сборников научных трудов, тезисов и статей Московского, Новосибирского, Тверского, Рижского университетов. Основы теории экономических систем и системного анализа, моделирования и математических методов – из работ Валуева С.А., Велеско Е.И., Кобринского Н.Е., Прокунина Л.М., Сыроежина И.М., Холода Н.И.

**Связь работы с крупными научными программами, темами.** Приложение теории нечетких множеств к решению экономических задач является одним из наиболее развиваемых разделов зарубежных ЭММ. В Республике Беларусь исследования в данной области осуществляют подразделения и лаборатории Белгосуниверситета, Белорусского государственного экономического университета, Института технической кибернетики НАН РБ и др. Организуются научные конференции и семинары, осуществляется выпуск литературы (в т.ч. серия монографий “Новые математические модели и методы в управлении”, посвященная приложениям ТНМ в управлении предприятием). Научные исследования проводятся в сотрудничестве с международными организациями, в частности - International Association For Fuzzy-set Management And Economy - SIGEF (Испания) и International Association For Advancement Of Modeling And Simulation – AMSE (Франция), которые осуществляют фундаментальные и прикладные исследования, организуют научные конференции и конгрессы, координируют деятельность ученых в разработке актуальных научных проблем. Крупными научными темами, координируемыми и обсуждаемыми на конгрессах SIGEF и AMSE под общей проблематикой “Нечеткая экономика и управление”, в рамках которых докладывались и публиковались положения и результаты данного диссертационного исследования, являются “Системы и сигналы в технологиях искусственного интеллекта” и “Оперирование с неопределенностью при управлении современным предприятием”.

**Цель и задачи исследования.** Научные исследования, связанные с ТНМ, активно ведутся в направлении развития и углубления математического и категориального аппарата для оформления научного направления в строгую научную дисциплину, т.е. уровень фундаментальный, и разработки и популяризации методик и алгоритмов на базе ТНМ для решения различных прикладных проблем, т.е. уровень практический. Между двумя указанными выше направлениями обозначилась недостаточно разработанная методологическая область, исследования в которой должны расширять сферу приложений методик и алгоритмов на основе ТНМ, обосновывать необходимость, особенности и ограничения использования нечетких множеств в различных прикладных областях. Данная работа направлена

на совершенствование теоретико-методологической базы. Положенный в основу диссертации комплексный подход, содержащий анализ проблемы неопределенности и обоснование формальных методов ее решения, отличает работу от других исследований, посвященных приложениям ТНМ в экономике. Целью исследования является: *разработка эффективной методики формализации экономических систем с использованием математического аппарата ТНМ*. Для достижения цели автором решены следующие задачи:

1. Сформулировано содержание проблемы неопределенности при исследовании экономических систем, выявлена ее природа и конкретные проявления, показана неизбежность возникновения.
2. Обоснован наиболее эффективный подход к моделированию сложных и слабо детерминированных экономических объектов, разработаны требования, предъявляемые к языку формализации в рамках данного подхода.
3. Проведен анализ формального аппарата ТНМ, доказано его соответствие сформулированным требованиям к языку учета неопределенности, обоснованы преимущества нечетких методов при описании неопределенных параметров экономических систем.
4. Разработаны принципы организации нечеткого поиска решения, механизмы совершенствования и корректировки модели.
5. Проведена практическая апробация полученных формальных методик.

**Объект и предмет исследования.** Объектом исследования являются экономические системы, характеризующиеся наличием неопределенности, уровень знаний об элементах, связях и других существенных параметрах которых не позволяет использовать точные числовые оценки, а сложность внутренней организации и внешних связей - получать достоверные статистические закономерности. Такие параметры, для большинства которых удастся определить некоторую область возможных значений, формализуются с помощью математического аппарата ТНМ, т.е. являются нечетко определенными параметрами. Предметом исследования являются принципы и методы моделирования данного класса объектов.

***Научная новизна полученных результатов:***

- В работе впервые предложено комплексное научное обоснование применения математического аппарата нечетких множеств, основанное на анализе проблемы неопределенности как результата субъективного восприятия исследователем сложных экономических объектов.
- Введение понятия “субъективного образа объекта”, разделение процесса исследования экономической проблемы на доформальную и формальную составляющие, позволило получить новые научные результаты: отделить субъективные аспекты исследования ЭС от самого объекта, показать источники неопределенности и неизбежность ее возникновения, сформулировать основные принципы формализации и организации процесса поиска решения экономической проблемы в условиях неопределенности.

- В работе определены и обоснованы новые преимущества моделирования с учетом неопределенности, обеспечивающие соблюдение основных принципов формализации сложных экономических объектов и состоящие в: максимальной эффективности достижения баланса между сложностью и определенностью модели; возможности определения источников неудовлетворительного решения - неверные представления об объекте, либо некорректная формализация.
- Важной научной задачей, решенной в ходе анализа формального аппарата ТНМ, явилось доказательство его соответствия сформулированным в работе требованиям к языку учета неопределенности. Дано дальнейшее развитие недостаточно разработанному на настоящий момент вопросу экономической интерпретации нечетких приемов описания знаний, формальных процедур (сравнения, определения степени размытости и четкого эквивалента) и результатов моделирования.
- Определенные автором принципы моделирования в условиях неопределенности и соответствующие возможности математического аппарата ТНМ позволили разработать комплексную прикладную методику, в основу которой положен Алгоритм моделирования на основе нечетких переменных (АМНП), позволяющий эффективно и корректно организовать процесс доформального исследования и формализации экономических объектов.

***Практическая значимость полученных результатов.*** Предложенные автором прикладные методики и алгоритмы позволяют получать математически обоснованные управленческие решения в экономических системах, характеризующихся неоднозначными, размытыми параметрами. Они могут использоваться в сфере функционирования отдельных предприятий, при решении макроэкономических задач, а также в учебном процессе для формирования навыков принятия решений в условиях неопределенности специалистами различных областей рынка. Важное прикладное значение имеют:

- сформулированные в работе принципы нечеткого описания знаний и экономической интерпретации результатов нечеткого поиска решения;
- Алгоритм моделирования на основе нечетких переменных, позволяющий наиболее эффективно получать формальное описание, содержащее необходимое соотношение сложности (затрат на практическую реализацию) и неопределенности (риска получения ошибочного результата), устранять причины неудовлетворительных решений;
- рекомендации по применению разработанных формальных методик при постановке и программной реализации экономических задач в условиях неопределенности, основанные на научном анализе и практическом опыте автора.

Приведенные методологические принципы апробированы при решении прикладных задач, связанных с функционированием фондового рынка. Выбор данного сегмента приложений ТНМ обусловлен тем, что рыночные механизмы в области реального и финансового рынка отечественной экономики, к сожалению, не действуют в полной мере. Однако финансовые учреждения получили доступ на

фондовые рынки зарубежных стран, на которых реализованы принципы рыночной экономики: механизмы ценообразования через соотношение спроса и предложения, конкурентные отношения. На этих рынках существует устоявшаяся конъюнктура и динамика, они лишены возможности неэкономического воздействия со стороны государства.

**Экономическая значимость полученных результатов.** Описанные методики и алгоритмы особо значимы в качестве основы для математического обеспечения программных средств различного назначения. Опыт автора по внедрению на отдельных предприятиях подобного программного обеспечения показал эффективность нечетких методов поиска решения при невысоких вычислительных затратах и трудоемкости практической реализации.

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

1. Разработанная научно обоснованная концепция неопределенности – неотъемлемой особенности ЭС, ее элементы и научные результаты, позволившие: отделить субъективные аспекты исследования от самого объекта, показать источники и неизбежность возникновения проблемы неопределенности, определить принципы формализации и организации поиска решения экономической проблемы в условиях неопределенности.
2. Разработанные автором элементы концепции моделирования с учетом неопределенности: сформулированные требования к языку формальной реализации и новые преимущества МУН, как оптимального механизма формализации экономических систем, состоящие в возможности оценки корректности знаний эксперта об объекте и эффективности нахождения баланса сложности и неопределенности модели.
3. Раскрытые в работе особенности применения математического аппарата ТНМ, как языка учета неопределенности ЭС, принципы экономической интерпретации формальных процедур и результатов моделирования с нечеткими переменными.
4. Созданный на основе указанных научных предпосылок и формального аппарата нечетких множеств Алгоритм МНП, как методика эффективной организации процесса исследования и моделирования ЭС в условиях неопределенности.
5. Практическое подтверждение эффективности полученной прикладной методики и рекомендации по ее использованию, основанные на анализе решения конкретных прикладных задач в сфере фондового рынка.

**Личный вклад соискателя.** Диссертация выполнена соискателем самостоятельно на основе изучения научной литературы, обсуждения основных положений работы в профильных секциях научных конференций, личного практического опыта.

**Апробация результатов.** Основные положения диссертации, результаты исследования докладывались, обсуждались и освещены в материалах Научной конференции по вопросам становления рыночной экономики в РБ (Минск, 1996), Международной конференции по проблемам и перспективам экономической нау-

ки и образования (Минск, 1998), Научно-практической конференции по проблеме гуманизации в области образования и науки (Минск, 1998), Международной конференции и международного конгресса по системам и сигналам в технологиях искусственного интеллекта (SSIT'98, Минск), Международной научно-практической конференции по экономическим проблемам управления качеством (Минск, 1999), Республиканской научно-практической конференции по проблемам практической подготовки специалистов экономического профиля (Минск, 1999). Автор принимал участие в ежегодных научно-практических конференциях и семинарах БГЭУ, факультета менеджмента, Высшей школы управления и бизнеса. Теоретические положения и практические результаты, послужившие основой для написания диссертации, изложены в научной работе, получившей Диплом I степени на конкурсе научных работ Министерства образования и науки в 1996 году.

Результаты исследований были апробированы в "Белгазпромбанке" (Минск) при разработке методик и реализующего их ПО в области планирования и анализа деятельности банка (1996-97 гг.), системы анализа и поддержки принятия решений специалистами рынка ценных бумаг (1997-98гг.). В 1999 году автор начал внедрение технологии учета, анализа и планирования товарно-материальных потоков на основе нечеткого моделирования в компании "Sagmel Inc." (США).

**Опубликованность результатов.** По теме диссертации опубликовано 7 научных работ:

- 2 статьи в Вестнике БГЭУ (№4/97, №2/99)
- 1 статья в Сборнике научных трудов Международной конференции и международного конгресса по сигналам и системам в технологиях искусственного интеллекта (SSIT'98)
- 4 тезиса докладов на международных и республиканских конференциях.

Текст автореферата размещен для свободного ознакомления в сети Internet.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, содержащего постановку проблемы и определяющего задачи исследования, общей характеристики работы, трех глав, раскрывающих содержание проведенных исследований, и заключения. Имеется список используемых сокращений и список литературных источников. Объем диссертации составляет 106 страниц, включает 4 таблицы данных и 31 иллюстрацию, в т.ч. 4 схемы-графика и 1 графический объект, иллюстрирующий фрагменты ПО. Список литературы, используемой автором, состоит из 58 наименований и размещается на 5 страницах.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **ВВЕДЕНИИ** рассматривается актуальность выбранной темы диссертации, дается анализ разработанности научной проблемы и обосновываются



основные этапы проведения исследования. Показывается необходимость комплексного подхода, включающего не только разработку собственно формальных методик, но и анализ проблемы неопределенности при моделировании ЭС, концептуальных подходов к ее решению, необходимость практической апробации результатов исследования.

**ГЛАВА 1 - "Общие подходы к решению проблемы неопределенности экономических систем"** предваряется анализом различных взглядов авторов на "субъективный фактор" при идентификации и моделировании сложных систем. Как правило, исследователь включается в рамки системы либо в качестве наблюдателя (исключается всякое влияние субъективного восприятия действительности), либо как один из элементов системы (при этом смешивается объективная реальность и субъективный аспект ее изучения). Автором предлагается другая модель – "проекционный механизм", при котором на доформальном этапе исследования такие особенности исследователя как объем знаний, профессиональная принадлежность, язык научного познания, глубина возможного постижения свойств элементов и взаимосвязей и т.д., формируют индивидуальное представление о системе (субъективный образ). Происходит "проецирование" реальности в пространство представлений исследователя:  $S' \equiv F(S)$ , где  $S' \equiv \langle A, R, Q_A, \dots \rangle$  - экономическая система с множеством характеристик ( $A$  – элементный набор,  $R$  – множество связей,  $Q_A$  – множество свойств элементов и т.д.),  $F$  – отображение элемента ( $S$ ) объективно существующей реальности ( $\Omega$ ) в пространство субъективных представлений исследователя ( $\Theta$ ), т.е.  $F: \Omega \rightarrow \Theta$ . Для любого сложного объекта существует множество субъективных образов, удовлетворительно описывающих его при конкретных целях исследования.

Совершенствование "проецирующих" факторов и развитие исследуемого объекта приводит к тому, что субъективный образ объекта (контуры и внутренняя конфигурация системы) постоянно модернизируется, корректируется, становится неоднозначным, что создает предпосылки для появления неопределенности. Неопределенность проявляется в неполном, частичном или некорректном знании исследователем сложных механизмов функционирования и связи между элементами, в размытости (отсутствии точных количественных оценок) параметров и свойств системы. Проведенный анализ показал, что к характеристикам экономических объектов, приводящим к возникновению неопределенности, относятся: многообразие элементного набора, взаимосвязей и динамики, множественность целеполагания, способность к самоорганизации, наличие лагов и запаздываний в реакции на внешнее воздействие, вовлеченность человека (групп людей с различными интересами) в контур системы.

Таким образом, *неопределенность как неотъемлемая особенность ЭС* приводит к тому, что невозможно в полной мере, без искажения или упрощения выявить на доформальной стадии и учесть на этапе формализации все параметры

реального объекта и его элементов. В этих условиях необходим особый подход к моделированию ЭС, ориентированный на наличие неопределенности и способный оценивать неизбежную неточность решения. При этом ключевой задачей формализации становится нахождение необходимого *компромисса между сложностью и неопределенностью модели* (содержанием и точностью модели), а в практическом смысле – между затратами на реализацию и риском принятия необоснованного управленческого решения.

Автором указываются недостатки традиционных подходов к построению моделей, не ориентированных на работу в условиях неопределенности. Одни из них устраняют, отбрасывают неопределенные участки системы или заменяют их точными оценками, в результате чего получаются простые в использовании, но неадекватные действительности модели. Другие пытаются построить полное формальное описание, что в принципе невозможно для сложных экономических систем. Это порождает громоздкость и сложность модели, затрудняет ее практическую реализацию. В конечном итоге решаются отдельные подзадачи для поиска самых незначительных параметров, при этом применение упрощающих гипотез все равно неизбежно, а возросшая сложность приводит к появлению новых ошибок, т.е. адекватность реальному объекту не достигается. Описанные подходы не дают исследователю возможность оценки достоверности ответа, оценки влияния на отклонение выходных значений модели от реальных совокупности неучтенных факторов, а следовательно отсутствует механизм поиска компромисса между сложностью и неопределенностью модели.

Суть подхода, развиваемого в работе и заключающегося в *учете неопределенности*, состоит в следующем: каждое упрощение в модели, относительно имеющегося субъективного представления исследователя об объекте, оценивается величиной неопределенности, привносимой данным упрощением. Эта оценка прослеживается от исходных данных до получения окончательного решения. Эксперт всегда ясно представляет, какой долей определенности он жертвует ради снижения сложности модели. При этом, если получаемые решения, несущие в себе оценку недетерминированности, адекватны реальным выходам системы (область возможных решений модели включает в себя и истинное значение искомого параметра объекта), субъективное представление исследователя также будет верным. В противном случае, независимо от сложности представления, его необходимо будет пересмотреть. В отличие от других авторов, которые выделяют в качестве преимуществ моделирования с учетом неопределенности (МУН) лишь возможность оценки точности модели, в работе доказывается, что при правильной организации моделирования в рамках данного подхода наиболее эффективно *достигается баланс между сложностью и неопределенностью*. Более того, он *позволяет определять причину неудовлетворительного решения*: либо неверное субъективное представление (некорректные знания об объекте), либо неудовлетворительное формальное описание.

Таким образом, применение МУН позволяет обоснованно и эффективно строить процесс изучения объекта, однако, его успешная реализация требует разработки специальных языков формализации.

На основании рассмотренной теоретической концепции и опыта автора в решении конкретных задач, сформулированы *требования к языку учета неопределенности*, которые заключаются в способности оценивать неопределенность, возникающую при упрощении параметров модели относительно субъективного представления исследователя и проследить полученную оценку от исходных параметров до окончательного решения, не усложняя существенно его поиск (в том числе описывать субъективные знания экспертов, часто лишь качественно определенные). Такой формальный аппарат должен обладать возможностью определения относительной оценки достоверности каждого конкретного значения из области полученного моделью решения. Простота восприятия и понимания исследователем изменений, вносимых в формальное описание применением данного языка должна сочетаться с универсальностью (возможность применения в широком диапазоне приложений) и полнотой (не сокращается область задач, которые могут быть решены на его основе, относительно традиционного моделирования).

**В ГЛАВЕ 2 “Нечеткие множества как эффективный инструмент учета неопределенности”** выделяются объекты нечеткой формализации, анализируются типы сигналов, характеризующие различные параметры экономического объекта: детерминированные, случайные, размытые. Последние имеют общее свойство – многовариантность возможных значений выходного сигнала, т.е. несут неопределенность, вместе с тем обладая существенными различиями: в первом случае этой вариантности можно дать объективную числовую меру, основанную на прошлом опыте (получить закон распределения), для второго случая такую меру определить невозможно или очень сложно. Указывается, что существенные характеристики экономических объектов, которые в совокупности приводят к сложной внутренней организации и внешним взаимодействиям, практически исключают возможность повторений состояний экономической среды и самой системы, как следствие - преобладание “уникальности” над постоянством, нечеткого подхода к описанию действительности перед статистическим.

Для определения понятия “нечеткое множество” автор использует теоретико-множественный подход. Приводятся различные примеры, иллюстрирующие неэффективность бинарной оценки принадлежности (принадлежит – не принадлежит, да – нет, 0 – 1) и доказываются необходимость введения промежуточных оттенков принадлежности для различных понятий реальной экономики (например, соответствие определенного значения годовой инфляции понятию “высокая инфляция”, отнесение предприятия к определенной рейтинговой группе и т.д.), и расширения области определения функции принадлежности на весь интервал от 0 до 1. Таким образом, *нечеткое подмножество*  $\Delta$  универсального множества  $U$  характеризуется функцией принадлежности  $\mu_{\Delta}: U \rightarrow [0,1]$ , которая ставит в

соответствие каждому элементу  $u \in U$  число  $\mu_{\underline{A}}(u)$  из отрезка  $[0,1]$ , характеризующее степень принадлежности элемента  $u$  к подмножеству  $\underline{A}$ .

В большинстве случаев параметры экономической системы, несущие неопределенность, определяются группой (интервалом значений), внутри которой уровень принадлежности возрастает с приближением к некоторому центральному значению, описывающему наиболее возможную их величину. Такие нечеткие конструкции (нечеткие числа) предлагается использовать для формализации неопределенных параметров системы. *Нечеткое число (НЧ)* определяется как нечеткое подмножество ( $A$ ) универсального множества ( $U$ ) действительных чисел, имеющее нормальную (должно существовать такое  $u^* \in U$ , для которого  $\mu_A(u^*) = 1$ ) и выпуклую функции принадлежности (любое перемещение вправо и влево от данного  $u^*$  не увеличивает  $\mu_A(u)$ ).

В работе определены рекомендации по применению, преимущества и недостатки различных типов НЧ (дискретных и непрерывных) в описании экономических знаний. Для их успешного применения в практических задачах, понадобилось определить ряд процедур, являющихся неотъемлемой частью процесса поиска решения в рамках концепции учета неопределенности и подчеркивающих нечеткую природу переменных. Определяется *четкий эквивалент (ЧЭ)* НЧ, что дает возможность сравнивать размытые данные и формировать на их основе экономические решения (безусловно, четкие). Обосновываются различные подходы к определению степени размытости исходных данных и параметров модели. Вводится понятие *уровня неопределенности (УН)*, как относительной оценки размытости, которая позволяет находить элементы модели, вносящие наибольшую неточность в ответ и контролировать риск принимаемых решений. Из множества математических приемов, позволяющих различным образом определять указанные величины, автором предлагается использовать те из них, которые в наибольшей степени соответствуют экономическому содержанию переменных.

Приведенные возможности математического аппарата ТМ позволяют сделать вывод о его *соответствии основным требованиям к языку учета неопределенности*. Это позволяет перейти к разработке прикладной методики исследования экономических объектов на основе нечетких чисел и концепции учета неопределенности.

Предлагаемый *Алгоритм моделирования ЭС на основе нечетких переменных - АМНП*, состоит из этапов, объединяющих процессы исследования, моделирования, анализа результатов в единый механизм решения экономической задачи. Необходимо отметить, что исследуемый объект в конкретной постановке задачи является не только источником получения модели, на его основе формируются критерии точности, связанные с риском принятия решений, и, с учетом значимости проблемы, критерии сложности - в виде приемлемого объема

затрат на практическую реализацию модели.

Первым блоком алгоритма является блок описания, включающий получение образа объекта исследования и построение на его основе нечеткого описания:

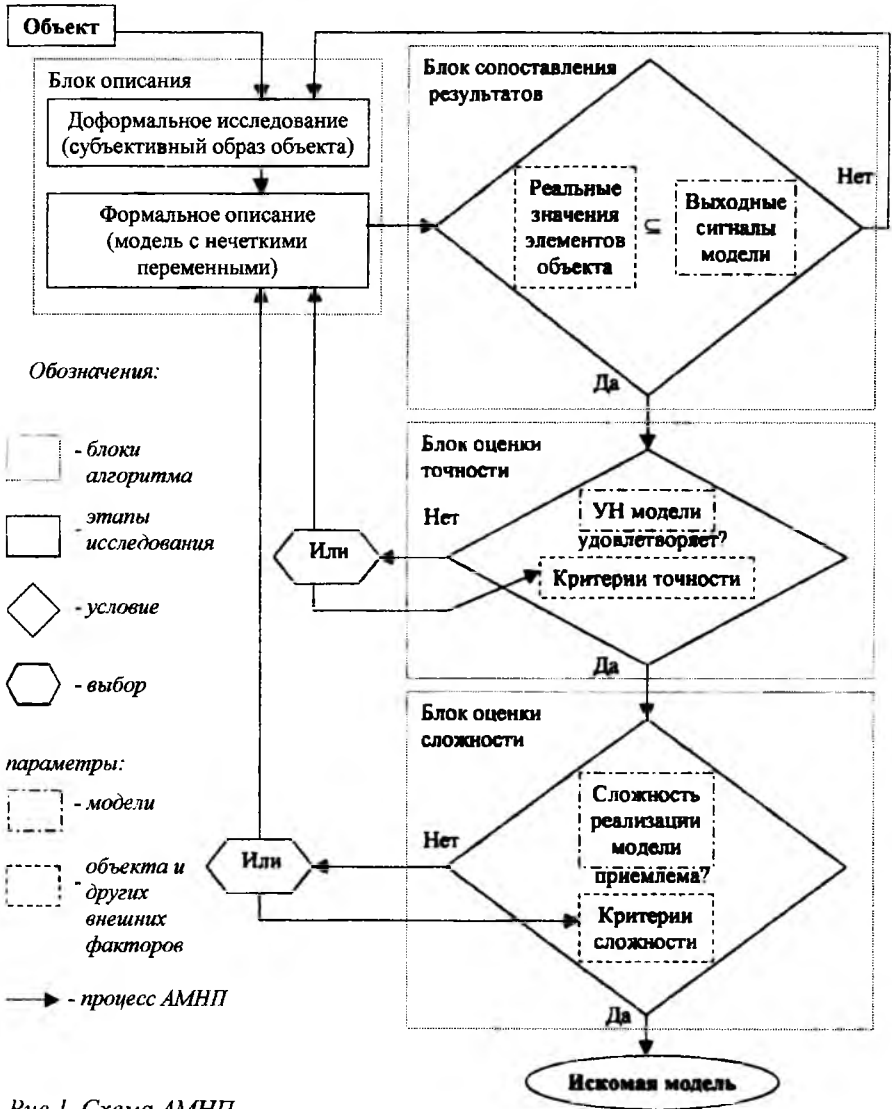


Рис. 1. Схема АМНП

Следующий этап - сопоставление полученных выходных данных модели со значениями соответствующих элементов объекта. Если область ответа, полученного на основе поиска решения нечеткой модели, включает в себя реальные

значения описываемого параметра, делается вывод о приемлемости образа объекта, полученного на доформальном этапе. Иначе следует искать причину неудовлетворительного результата в неадекватности действительности знания исследователя. Далее следует блок оценки неопределенности полученного ответа и блок оценки сложности. Определяются оценки размытости (УН) и делается вывод о приемлемости точности построения модели. Если она достаточна для принятия решений, оценивается сложность. В противном случае следует увеличивать точность, усложняя модель введением новых свойств и закономерностей объекта (учитывая приемлемость с точки зрения возможности практической реализации). При чрезмерной точности, в ситуации, когда сложность модели является преградой к нормальному ее использованию (исходя из затрат времени и вычислительных ресурсов), разгружают модель, заменяя мало существенные узлы более простыми конструкциями. В обоих случаях необходимо вернуться к стадии формального описания, либо пересмотреть экзогенные критерии точности и сложности.

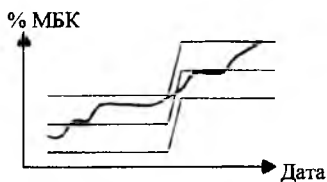
Результатом выполнения алгоритма является *модель, имеющая необходимое эксперту соотношение сложности (объема затрат на реализацию) и неопределенности (риска принятия неверного решения на основе результатов ее использования)*.

**ГЛАВА 3 “Применение моделирования с нечеткими переменными для решения экономических задач: примеры приложений и рекомендации”** посвящена практическим аспектам работы с экономическими объектами в рамках предложенной концепции моделирования на основе нечетких переменных. Приводится экономическая постановка нескольких конкретных задач, связанных с поиском решения в условиях неопределенности, и разработанные автором математические модели, использующие нечеткие описания. В каждой из задач раскрываются преимущества нечеткого описания и дополнительные аналитические возможности, предоставляемые данным инструментарием, указывается близость языка нечетких конструкций к естественному языку субъективных заключений экспертов.

Целью *Задачи анализа и прогноза экономических показателей на основе нечеткой регрессионной модели (НРМ)* является поиск нежесткой связи между факторами и результатом, т.е. коэффициентами уравнения выступают нечеткие числа. Такая связь дает в распоряжение эксперта область возможных значений искомого параметра с различными оценками достоверности, что определяет *более высокую степень обоснования экономических решений*. Использование принципов АМНП значительно упрощает поиск оптимальной формы связи.

Рассматривается линейная зависимость величины процентной ставки на рынке МБК от ставки рефинансирования НБ. Нечеткие коэффициенты размывают линию регрессии в нечеткий коридор минимальной ширины, включающий все возможные значения % МБК при данных значениях ставки рефинансирования.

а) 1 фактор:



б) 2 фактора:

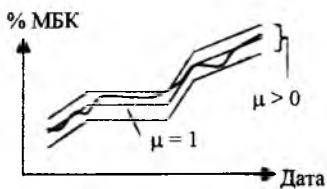


Рис. 2. Нечеткая регрессия

Для снижения возможного разброса значений (УН модели), повышения точности прогноза вводится дополнительный фактор - ставка вторичного рынка государственных облигаций, являющаяся более подвижным индикатором рынка. При этом ширина нечеткого коридора уменьшается (см. рис.2).

Принципы нечеткого описания данных, используемые в НРМ, позволяют: строить модели на основе *размытых оценок* (например, многовариантных экспертных); получать зависимости с *несимметричным* распределением возможности. Включение в модель *знаний эксперта о нечетких коэффициентах и неопределенности*,

вносимой каждым фактором, позволяет перерас-

пределять УН между элементами модели и использовать дополнительный критерий для получения наилучшего функционального представления.

Важным условием при постановке *Задачи оценки работы дилера на фондовом рынке* является разработка такой *универсальной оценки*, которая позволяла бы сравнивать эффективность ведения портфелей на рынках с различными спекулятивными возможностями. Разные условия доходности и риска на каждом из них не позволяют использовать для этого фиксированные критерии доходности или рыночные индикаторы. Поэтому предлагается оценивать портфель дилера относительно эталонного портфеля, являющегося комбинацией наилучшего и наихудшего из портфелей (с т.з. роста стоимости), построенных по котировкам бумаг за анализируемый период. Т.е. сравнивать рост стоимости портфеля дилера с максимальными и минимальными возможностями, которые предоставил рынок.

Для определения наилучшей (наихудшей) стратегии используется алгоритм динамического программирования, результатом выполнения которого является вектор  $X$  размерностью  $(m - 1)$ , где  $m$  - количество торгов, и  $i$ -ый элемент соответствует номеру выпуска, который должен был входить в портфель после  $i$ -ых торгов, чтобы стоимость портфеля к  $n$ -ым торгам была максимальной (минимальной). В качестве исходных данных используются цены  $(P_{ij})$  каждого выпуска  $(j \in \underline{1, n})$ , где  $n$  - количество выпусков). Т.к. в ходе торгов по бумаге сделки заключаются в некотором диапазоне цен с разным уровнем возможности ее совершения для каждого значения, использование четкого числа в качестве  $P_{ij}$  не отражает реальной ситуации торгов и приводит к неудовлетворительным результатам. Во-первых, необходим многократный пересчет алгоритма, например, для средних и крайних значений интервала цены, в результате чего будут получаться различные вектора  $X$ , и потребуется процедура объединения

решений. Во-вторых, что наиболее существенно, четкая реализация не учитывает, что возможность заключения сделок неравномерна для всего интервала цен и уменьшается при приближении к его границам.

В работе экономически обосновывается, что наиболее полному описанию цены торгов для участника, не оказывающего монопольного влияния на рынок, соответствует нечеткое треугольное число:  $P_{ij} = \{P_{ij}^1, P_{ij}^2, P_{ij}^3\}$ , где  $P_{ij}^1$  ( $P_{ij}^3$ ) -



Рис.3. Эталонный портфель (ЭП) и портфель дилера (ПД)

минимальная (максимальная) цена сделок,  $P_{ij}^2$  - средневзвешенная цена торгов. Полученная область нечеткого эталонного портфеля включает в себя значения портфеля дилера (см. рис.3), поэтому нет необходимости введения дополнительных шкал оценки, достаточно использовать относительное удаление ПД от границ ЭП. Такая методика исключает влияние фактора при проведении анализа. Для получения сопоставимых оценок работы на рынках с разными возможностями, достаточно зафиксировать соотношение наилучшей и наихудшей стратегии в ЭП.

Данная система анализа позволяет более объективно использовать информацию биржевых торгов, сравнивать эффективность работы с фондовыми инструментами различных рынков. Оценка портфеля гибко реагирует на изменение рыночной ситуации.

**Задача определения оптимального портфеля ценных бумаг** раскрывает преимущества нечеткого описания при решении задач нелинейной оптимизации, связанные с большим, относительно традиционной схемы описания, многообразием целевых установок и набора ограничений. Показаны различные методики оценки риска портфеля, и нечеткие критерии, позволяющие управлять его величиной. Т.к. прогнозные котировки активов предполагают многовариантность,

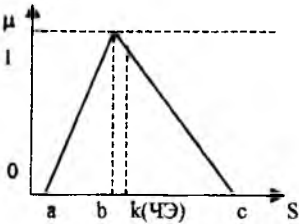


Рис.4. Нечеткая оценка стоимости портфеля

их удобно задавать в виде размытых оценок. Автор использует нечеткие тройки, как результат прогноза на основе нечеткой регрессии или анализа экспертных мнений. Оценка стоимости портфеля также будет нечеткой (см. рис.4). Это позволяет эксперту формировать оптимальный портфель, исходя из различных стратегий поведения на рынке. Например, оптимальный план задачи - количество продаваемых и

покупаемых единиц каждого актива - будет различен для инвесторов, ориентирующихся на бумаги с возможностью большего роста ( $c \rightarrow \text{Max}$ ) и максимизирующих средневозможную оценку стоимости ( $k \rightarrow \text{Max}$ ). В качестве критериев риска можно использовать не только величину возможного разброса значений (УН портфеля, либо  $(a - c)$ ), но и явное ограничение нижней границы стоимости



портфеля (а). Дополнительными ограничениями выступает максимальный объем и/или количество сделок, необходимая структура по срокам погашения. Для снижения УН модели в качестве исходных данных можно использовать различные агрегаты: по типам бумаг, по срокам до погашения, эмитентам и т.д.

В заключении главы даны рекомендации по практическому использованию специалистами методов и алгоритмов, оперирующих с нечеткими величинами: рассматриваются вопросы реализации нечетких описаний в специализированных (поддерживающих математический аппарат ТНМ) и стандартных программных средствах (электронных таблицах, базах данных, языках программирования), дается оценка трудоемкости описания, вычислительных затрат (быстродействия алгоритмов, содержащих нечеткие оценки) в разных программных средах.

Приведенные автором методики реализованы в виде программных средств анализа и интегрированы в АРМы соответствующих специалистов банка.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Многообразие элементной структуры, взаимосвязей и динамики, множество целевых установок, обусловленных различными интересами участников рынка, и другие свойства экономических объектов характеризуют их как исключительно сложные, приводят к неизбежности возникновения неопределенности и требуют применения особых подходов к моделированию и специального языка формализации, способного описывать и включать в модель размытые, неоднозначно определенные параметры. [5 - 7]

2. Традиционные инструменты моделирования неэффективны в условиях неопределенности, приводят к чрезмерному упрощению или усложнению формального описания, не способны оценивать качество модели и получаемых результатов. [1 - 3, 5, 7]

3. Учет неопределенности в моделях позволяет оптимальным образом построить процесс решения экономической задачи, и реализует основные принципы моделирования в условиях неопределенности – дает возможность отыскать компромисс между сложностью и точностью модели, оценить качество результата и знаний исследователя об объекте. Проведенный анализ математического аппарата ТНМ позволяет сделать вывод об эффективности его применения в качестве языка учета неопределенности в моделях экономических систем. [1, 2]

4. Применение формального аппарата нечетких множеств при моделировании ЭС повышает достоверность результатов, увеличивает аналитическую базу принимаемых решений и расширяет область возможного использования формальных методов поиска решения. Изменения, вносимые в формальное описание нечеткими оценками и переменными, не сужают область возможных приложений традици-

онных формальных методов, они просты для восприятия и понимания ЛПР. [1 - 7]  
 5. Рациональный поиск решения обеспечивает использование Алгоритма МНП, построенного на основе концепции учета неопределенности и математическом аппарате нечетких множеств, и сформулированных принципов нечеткого описания знаний и экономической интерпретации результатов нечеткого моделирования. [2]

6. Практическая реализация алгоритмов, содержащих нечеткие описания и нечеткие методы поиска решения, не требует дополнительных временных и вычислительных затрат и может осуществляться на основе стандартных программных средств, используемых на предприятии (электронных таблиц, СУБД). [1, 2, 5]

Таким образом, приведенная автором научно обоснованная концепция и разработанная на ее основе прикладная методика позволяют существенно приблизить язык формального описания к реальным экономическим процессам и явлениям, повысить роль ЭММ при принятии решений, а значит, сделать более эффективным использование информации как важнейшего ресурса современного предприятия.

#### СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Логинов П.П. Применение методов синергетики и теории нечетких множеств при анализе экономической информации // Станов. рын. экон. в РБ (27 марта 1996 г.). Тез. докл. науч. конф. Секция "Эк. киб-ка". – Минск: БГЭУ, 1996. – С. 17 – 19
2. Логинов П.П. Управление портфелем ценных бумаг при нечеткой исходной информации // Вестник БГЭУ. Науч.-практ. журнал. – 1997, № 4 (7). – С. 83 – 88
3. Логинов П.П. Применение нечеткого моделирования для анализа динамики портфеля ценных бумаг // Экон. наука и обр.: проблемы и перспективы (Минск 18-19 мая 1998 г.). Тез. докл. конф. Секции 3 – 6. – Минск: БГЭУ, 1999. – С. 46 – 48
4. Логинов П.П. Управление портфелем активов при нечеткой исходной информации // Экон. наука и образ.: проблемы и перспективы (Минск 18-19 мая 1998 г.). Тез. докл. межд. науч.-практ. конф. – Минск: БГЭУ, 1999. – С. 37 – 38
5. Loginov Pavel. Application of decomposition and fuzzy processing of expert value to the evaluation of investment attraction // Int. conf. on system and signals in the intelligent technologies (Sep/98, Minsk). Coll. scient. articles. – Minsk: BSU, 1998. – P. 167 – 173
6. Логинов П.П. Повышение роли экономико-математических методов при подготовке современного экономиста (На примерах средств, использующих нечеткие методы анализа) // Экон. пробл. управл. качеством (Минск, 25-26 марта 1999 г.). Тез. докл. межд. науч. конф. Секции 1 – 3. – Минск: БГЭУ, 1999. – С. 165 – 166
7. Логинов П.П. Оценка инвестиционной привлекательности фондовых рынков. Метод декомпозиции и нечеткой обработки экспертных заключений // Вестник БГЭУ. Науч.-практ. журнал. – 1999, № 2 (13). – С. 18 - 23

*Логінаў Павел Паўлавіч***Мадэляванне эканамічных сістэм з недакладна вызначанымі параметрамі**

**Ключавыя словы:** прыняцце рашэнняў ва ўмовах нявызначанасці, улік нявызначанасці ў мадэлях, тэорыя размытых мностваў (TRM), аб'ект размытай фармалізацыі, мадэляванне на аснове размытых пераменных.

**Аб'ектам даследавання** з'яўляюцца эканамічныя сістэмы, якія характарызуюцца нявызначанасцю, адсутнасцю дакладнай лічбавай ацэнкі асобных параметраў і атрымання дакладных статыстычных заканамернасцяў. Такія параметры, для якіх можна вызначыць пэўную вобласць магчымых значэнняў, фармалізуюцца з дапамогай матэматычнага апарату TRM, з'яўляюцца недакладна вызначанымі.

**Дысертацыя накіравана** на ўдасканаленне тэарэтыка-метадалагічнай базы выкарыстання тэорыі размытых мностваў у эканоміцы. У аснову дысертацыі пакладзен комплексны падыход, які змяшчае ў сабе аналіз праблемы нявызначанасці і абгрунтаванне фармальных метадаў яе рашэння. **Мэтай працы** з'яўляецца распрацоўка эфектыўнай метадыкі фармалізацыі эканамічных сістэм на аснове матэматычнага апарата тэорыі размытых мностваў.

**Атрыманая вынікі і навуковая навізна.** У дысертацыі дадзена навуковае абгрунтаванне праблемы нявызначанасці; сфармуляваны асноўныя прынцыпы фармалізацыі і арганізацыі пошуку рашэння ў эканамічных сістэмах з нявызначанасцю; вызначаны прынцыпы размытага апісання ведаў і эканамічнай інтэрпрэтацыі вынікаў размытага мадэлявання; створана прыкладная метадыка, якая дазваляе эфектыўна арганізаваць працэс дафармальнага даследавання і фармалізацыі эканамічных аб'ектаў ва ўмовах нявызначанасці; распрацаваны рэкамендацыі па прымяненні атрыманых фармальных метадык пры пастаноўцы і праграмнай рэалізацыі эканамічных задач.

**Ступень выкарыстання, рэкамендацыі па выкарыстанні.** Распрацаваная і апрабаваная прыкладная метадыка дазваляе атрымліваць матэматычна абгрунтаваныя кіруючыя рашэнні ў эканамічных сістэмах, для якіх характэрны неадназначныя, недакладныя параметры. Прымяненне атрыманых вынікаў як асновы для стварэння матэматычнага забяспячэння праграмных сродкаў рознага прызначэння дазволіць пры нязначных часовых і вылічальных затратах істотна павысіць ролю фармальных метадаў прыняцця рашэнняў у шматлікіх галінах эканомікі.

**Вобласць выкарыстання.** Атрыманая навуковыя і практычныя вынікі могуць выкарыстоўвацца ў сферы функцыянавання асобных прадпрыемстваў, пры рашэнні макраэканамічных задач, а таксама ў вучэбным працэсе для фарміравання навыкаў прыняцця рашэнняў ва ўмовах нявызначанасці спецыялістамі розных галін рынку.

*Логинов Павел Павлович***Моделирование экономических систем с нечетко определенными параметрами**

**Ключевые слова:** принятие решений в условиях неопределенности, учет неопределенности в моделях, теория нечетких множеств (ТНМ), объект нечеткой формализации, моделирование на основе нечетких переменных.

**Объектом исследования** являются экономические системы, характеризующиеся неопределенностью, невозможностью точной числовой оценки отдельных параметров и получения достоверных статистических закономерностей. Подобные параметры, для которых удастся определить некоторую область возможных значений, формализуются с помощью математического аппарата ТНМ, т.е. являются нечетко определенными.

**Работа направлена** на совершенствование теоретико-методологической базы применения теории нечетких множеств в экономике. В основу диссертации положен комплексный подход, содержащий анализ проблемы неопределенности и обоснование формальных методов ее решения. **Целью работы** является разработка эффективной методики формализации экономических систем на основе математического аппарата теории нечетких множеств.

**Полученные результаты и научная новизна.** В работе дано научное обоснование проблемы неопределенности; сформулированы основные принципы формализации и организации поиска решения в экономических системах с неопределенностью; определены принципы нечеткого описания знаний и экономической интерпретации результатов нечеткого моделирования; создана прикладная методика, которая позволяет эффективно организовать процесс доформального исследования и формализации экономических объектов в условиях неопределенности; разработаны рекомендации по применению полученных формальных методик при постановке и программной реализации экономических задач.

**Степень использования, рекомендации по использованию.** Разработанная и апробированная прикладная методика позволяет получать математически обоснованные управленческие решения в экономических системах, характеризующихся неоднозначными, размытыми параметрами. Применение полученных результатов как основы для создания математического обеспечения программных средств различного назначения позволит при незначительных временных и вычислительных затратах существенно повысить роль формальных методов принятия решений в различных областях экономики.

**Область применения.** Полученные научные и практические результаты могут использоваться в сфере функционирования отдельных предприятий, при решении макроэкономических задач, а также в учебном процессе для формирования навыков принятия решений в условиях неопределенности специалистами различных областей рынка.

## ABSTRACT

***Loginov Pavel Pavlovich***

**Modeling of economic systems with fuzzy-defined parameters**

**Keywords:** decision making under uncertainty, inclusion of uncertainty into the model, Fuzzy Set Theory (FST), object of fuzzy describing, modeling on the basis of fuzzy variables.

**The object** of the study are economic systems with uncertainty, which are characterized by impossibility to distinctly estimate of some parameters and obtain satisfactory statistical regularities. Such parameters, for which a certain area of values is obtained, are described with the help of fuzzy mathematics, i.e. these parameters are fuzzy-defined.

**The study is directed** at improving theoretical and methodological basis of economic applications of FST. The study includes analyzing uncertainty problem and obtaining formal methods of its solution. **The aim** of the study is development of effective technique of modeling economic systems on the fuzzy-sets basis.

**The results and scientific novelty.** Scientific grounds of uncertainty problem are given in the study; as well as the philosophy of formalizing and organization of solution search in the economic system under uncertainty is formulated; principles of fuzzy description of knowledge and economic interpretation of the results of fuzzy modeling are defined; applied technique is created, which allows to organize the effective process of pre-formal research and to formalize economic objects under uncertainty; recommendations how to apply the obtained formal techniques to setting and program realization of the economic task are worked out.

**The level of utilization and recommendations for users.** The applied technique allows to obtain mathematically substantiated solutions for economic systems of indistinct, indeterminate parameters. Application of the results as a basis for development of software allows to increase significance of formal methods and to reduce time and computing expenditures.

**The sphere of utilization.** The obtained scientific and practical results can be used in the sphere of functioning of enterprises, to solve macroeconomic problems, to educate specialist of various market branches and develop their skills of decision making under uncertainty.



Подписано в печать 23.11.99.      Формат 60x84/16

Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,4

Тираж 100. Заказ № 390.

Белорусский государственный экономический университет

Лицензия ЛВ № 170 от 21.01.98г

220070, Минск, пр. Партизанский, 26

Отпечатано в БГЭУ. Лицензия ЛП № 336 от 16.03.99г

220070, Минск, пр. Партизанский, 26