

На правах рукописи

Стоянова Ольга Владимировна

**НЕЙРО-НЕЧЕТКИЕ МЕТОДЫ И ИНСТРУМЕНТЫ
ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ**

Специальность:

**08.00.13 - Математические и инструментальные методы
экономики**

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



Москва - 2004

Работа выполнена на кафедре менеджмента филиала ГОУВПО «Московский энергетический институт (технический университет)» в г. Смоленске

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор Дли Максим Иосифович

Официальные оппоненты: доктор экономических наук,
профессор Зайцевский Игорь Владимирович

кандидат экономических наук
Филачева Олеся Анатольевна

Ведущая организация: ОАО НПП «Техноприбор»

Защита состоится « 10 » июня 2004 г.
в 12 часов 30 минут на заседании диссертационного совета К 212.157.02 при
ГОУВПО «Московский энергетический институт (технический университет) по
адресу: 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14, корп. Ж, ауд. Ж-200

Отзыв на автореферат (в двух экземплярах, заверенных печатью) просим
присылать по адресу: 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д.14, Ученый
совет МЭИ

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МЭИ.

Автореферат разослан « _____ » _____ 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета К 212.157.02
к.э.н., с.н.с.


И.Н. Цедрушкр

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

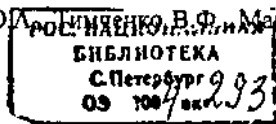
Актуальность темы.

Важнейшим фактором развития экономики Российской Федерации является повышение экономической эффективности деятельности предприятий электроэнергетической отрасли, находящейся в настоящее время на стадии формирования. Переход электроэнергетики к рыночным отношениям требует выработки новых подходов и методов управления электроэнергетическими предприятиями, основанных на всестороннем анализе и прогнозировании рыночных факторов для принятия обоснованных решений по различным аспектам производственно-хозяйственной деятельности.

Современные электроэнергетические компании представляют собой сложные, многосвязные, пространственно разнесенные иерархические объекты, функционирующие в условиях изменения их структуры и режимов работы. Формирующийся рынок электроэнергии зависит от большого числа факторов, прогнозирование изменения которых в ряде случаев затруднено. Это в значительной степени снижает экономическую эффективность применения широко распространенных информационных систем поддержки принятия решений при управлении электроэнергетическими предприятиями.

Одной из основных задач управления электроэнергетическими предприятиями является обеспечение рациональных режимов их работы при переменном характере нагрузки для достижения максимальной экономической эффективности в условиях соблюдения требований системной надежности. Для решения указанной задачи необходимо определить рациональные параметры используемого оборудования, оптимизировать режимы работы отдельных агрегатов и объемы закупки топлива для генерирующих предприятий, а для энерго-сбытовых предприятий - рационализировать процесс планирования объемов покупки электроэнергии на оптовом рынке, в зависимости от прогнозируемого электропотребления. Таким образом, прогнозирование уровня потребления электроэнергии необходимо для решения практически всего спектра задач планирования и управления деятельностью электроэнергетических предприятий.

В настоящее время разработано большое число математических методов и инструментов, которые могут использоваться для прогнозирования электропотребления. Этой проблеме посвятили свои труды такие авторы, как Бэнн Д.В., Фармер Е.Д., Меламед М.А., Скрипко О.А., Шенченко В.Ф., Макажков



Б.И., Антонов А.В., Чукреев Ю.Я., Готман Н.Э., Хохлов М.В., Шумилова Г.П., Старцева Т.Б., Меренков А.П., Массель Л.В. и др. Большинство авторов предлагает использовать для прогнозирования показателей рынка электроэнергетики традиционные статистические методы. Однако сложности, возникающие при применении этих методов для решения указанной задачи (высокий порядок моделей, ограниченный объем статистической информации), снижают их эффективность.

Альтернативой традиционным методам служат, так называемые, методы интеллектуальной обработки данных, к числу которых относятся методы нечеткой логики и искусственных нейронных сетей. Достоинствами данных методов является то, что они позволяют определять существенно нелинейные зависимости между исследуемым параметром и влияющими на него факторами, сохраняют работоспособность при неполной входной информации, обладают устойчивостью к помехам, имеют достаточно высокое быстродействие. Результаты применения данных методов для решения задач прогнозирования показателей рынка электроэнергетики рассмотрены в работах таких зарубежных авторов, как Bakirtzis A.G., Theocharis J.B., Kiartzis S.J., Satsios K.J., Chen S.T., David C.Y., Moghaddamjo A.R., Gross G., Galiana F.D., Hsy Y., Ho K., Lee K.Y., Park J.H., Liew A.C., Chang C.S. и др.

Однако этим методам свойственны недостатки, снижающие эффективность их применения (например, зависимость от субъективного мнения экспертов в системах нечеткого логического вывода). С другой стороны, применение механизма самоорганизации, лежащего в основе метода группового учета аргументов (МГУА), при построении математических моделей рынка электроэнергетики позволяет повысить качество использования методов искусственного интеллекта при выработке решений по управлению электроэнергетическим предприятием.

В этой связи актуальной научной задачей является разработка математических методов и инструментальных средств прогнозирования конъюнктуры рынка электроэнергетики, основанных на использовании алгоритмов интеллектуального анализа данных и принципа самоорганизации моделей, позволяющих повысить качество принимаемых решений при управлении электроэнергетическими предприятиями, имеющей существенное значение для теории и практики экономико-математического моделирования.

Цели и задачи исследования.

Целью диссертационной работы является разработка математических методов и инструментальных средств, основанных на самоорганизации нейронечетких сетей, поддержки принятия решений по управлению электроэнергетическими предприятиями в условиях структурной реорганизации и либерализации электроэнергетической отрасли.

Цель исследования обусловила необходимость постановки и решения следующих задач.

1. Анализ существующих математических методов и инструментальных средств, используемых в системах поддержки принятия управленческих решений для прогнозирования показателей рыночной конъюнктуры.

2. Комплексный анализ современного состояния и перспектив развития электроэнергетической отрасли России и энергосистемы Смоленской области.

3. Оценка влияния качества прогнозирования электропотребления на результаты деятельности субъектов электроэнергетической отрасли. Выявление основных факторов, влияющих на уровень электропотребления, и оценка характера этого влияния.

4. Разработка нейро-нечеткого метода построения математических моделей рынка электроэнергии, используемых для прогнозирования экономической конъюнктуры данного рынка.

5. Разработка инструментальных средств, реализующих нейро-нечеткие методы построения моделей рынка электроэнергии, как элементов информационных систем поддержки принятия решений по управлению электроэнергетическими предприятиями.

6. Практическое применение разработанных инструментальных средств на электроэнергетических предприятиях Смоленской области.

Методы исследования в диссертации.

В ходе выполнения данной работы использовались методы экономического анализа, математического моделирования, интеллектуального анализа данных и вычислительного эксперимента.

Достоверность научных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, определяется применением теорий нечеткой логики, нейронных сетей и методов имитационного моделирования.

Обоснованность теоретических разработок подтверждена вычислительными экспериментами на персональных компьютерах, результаты которых по-

зволяют сделать вывод об адекватности разработанных математических моделей.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Результаты комплексного анализа современного состояния и перспектив развития электроэнергетики по России и по Смоленской области и обоснования необходимости повышения качества прогнозирования показателей конъюнктуры рынка электроэнергии для предприятий электроэнергетической отрасли.

2. Нейро-нечеткий метод построения математической модели рынка электроэнергии, основанный на применении механизма самоорганизации.

3. Методика применения математической модели рынка электроэнергии для прогнозирования показателей электропотребления.

4. Алгоритмы функционирования инструментальных средств, используемых в качестве элементов информационно-аналитической системы поддержки принятия решений по управлению электроэнергетическим предприятием.

5. Программная реализация нейро-нечетких методов.

Научная новизна.

К наиболее существенным научным результатам относятся следующие.

1. Результаты анализа состояния электроэнергетической отрасли и российского рынка электроэнергии, показавшие возможность и целесообразность использования нейро-нечетких моделей рыночной конъюнктуры в системах поддержки принятия решений по управлению электроэнергетическими предприятиями.

2. Методические основы построения математических моделей рынка электроэнергии и их использования в системах поддержки принятия решений по управлению электроэнергетическими предприятиями, которые в отличие от известных основаны на механизмах самоорганизации нейро-нечетких сетей, что позволяет повысить качество прогнозирования показателей рыночной конъюнктуры.

3. Алгоритмы построения математических моделей рынка электроэнергии на основе самоорганизующихся нейро-нечетких сетей, позволяющих учитывать оценки экспертов и осуществлять прогнозирование электропотребления в условиях ограниченности исходной информации.

4. Инструментальные средства прогнозирования показателей экономической конъюнктуры рынка электроэнергии, использующие процедуры построения и применения самоорганизующихся нейро-нечетких моделей.

5. Научно-обоснованные рекомендации и методика по созданию интеллектуальной информационной системы поддержки принятия решений по управлению деятельностью электроэнергетического предприятия.-

ТТрактическая значимость результатов исследования.

1. Предложенные алгоритмы и инструменты построения моделей на основе самоорганизующихся нейро-нечетких сетей могут использоваться при разработке интеллектуальных информационных системы поддержки принятия решений по управлению предприятиями электроэнергетической отрасли.

2. На основе теоретических и методических результатов диссертационной работы разработан программный комплекс, представляющий собой экспертную систему прогнозирования показателей рыночной конъюнктуры электроэнергетического предприятия. Данный комплекс может использоваться на электроэнергетических предприятиях любого профиля (генерирующих, сбытовых) для повышения эффективности принятия решений по управлению этими предприятиями.

3. Теоретические и практические результаты исследования могут быть использованы в учебном процессе Вузов при подготовке специалистов в области менеджмента и математической экономики.

Реализация результатов работы.

Разработанная информационная система поддержки принятия управленческих решений практически используется на предприятии ОАО "Смоленск-энергосбыт" для краткосрочного прогнозирования электропотребления, что позволяет повысить качество принимаемых решений по оперативному планированию производственно-хозяйственной деятельности организации.

Апробация работы.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на ежегодных научно-технических конференциях студентов и аспирантов «Информационные технологии, ресурсосбережение; энергетика и экономика» (Смоленск 2003, 2004), 8-ой международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы управления -2003» (Москва, 2003), 9-ой республиканской открытой научной конференции «Современные проблемы информатизации» (Воронеж, 2004), 10-ой международной научно-технической

конференция студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» (Москва 2004).

Публикации.

По теме диссертации опубликовано 7 печатных работ, одна из них в соавторстве.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, включающего 118 наименований и приложений. Диссертация содержит 143 стр. машинописного текста, 35 рисунков и 12 таблиц.

Оглавление.

Введение

1. Современные математические методы и инструменты, используемые для поддержки принятия решений по управлению экономическими объектами
 - 1.1. Информационные системы поддержки принятия решений как инструмент повышения эффективности управления экономическими объектам
 - 1.2. Обзор математических методов, используемых в системах поддержки принятия решений для прогнозирования рыночной конъюнктуры
 - 1.3. Предпосылки использования принципа самоорганизации для построения нейро-нечетких моделей экономических систем
 - 1.4. Выводы
2. Анализ возможностей использования нейро-нечетких методов прогнозирования в системах поддержки принятия решений по управлению электроэнергетическими предприятиями
 - 2.1. Анализ современного состояния и перспектив развития электроэнергетической отрасли РФ
 - 2.2. Оценка состояния электроэнергетических предприятий Смоленской области
 - 2.3. Прогнозирование спроса на рынке электроэнергии как элемент эффективного управления электроэнергетическими предприятиями
 - 2.4. Выводы
3. Разработка самоорганизующихся нейро-нечетких моделей рыночной конъюнктуры электроэнергетических предприятий
 - 3.1. Методические основы построения математических моделей рынка электроэнергии на основе самоорганизации нейро-нечетких сетей

- 3.2. Алгоритм построения самоорганизующихся нейро-нечетких моделей для прогнозирования показателей конъюнктуры рынка электроэнергии
- 3.3. Выбор алгоритмов нечеткого вывода, используемых в нейро-нечетких самоорганизующихся моделях поддержки принятия управленческих решений
- 3.4. Выводы
- 4. Программная реализация и практическое применение нейро-нечетких методов и алгоритмов для поддержки принятия решений по управлению электро-энергетическими предприятиями
 - 4.1. Разработка инструментальных средств прогнозирования показателей конъюнктуры рынка электроэнергии
 - 4.2. Методика использования нейро-нечетких моделей в системах поддержки принятия решений по управлению электроэнергетическими предприятиями
 - 4.3. Применение самоорганизующихся нейро-нечетких моделей и инструментальных средств для прогнозирования электропотребления в Смоленской области
 - 4.4. Выводы

Заключение

Литература

Приложения.

Основное содержание работы.

Во введении обоснована актуальность решаемой научной задачи, сформулированы цели и задачи работы, приведены основные результаты диссертации.

В первой главе проведен обзор и анализ математических методов и инструментальных средств, применяемых в системах поддержки принятия решений для прогнозирования показателей рыночной конъюнктуры.

Для эффективного принятия решений по управлению электроэнергетическим предприятием необходим прогноз развития рыночной конъюнктуры, предполагающий учет большого числа взаимосвязанных и быстро меняющихся факторов в условиях неопределенности. Современные математические методы прогнозирования состояния сложных экономических систем, к которым относится рынок электроэнергии, можно условно разделить на две большие группы.

К первой группе методов, относятся, прежде всего, методы математической статистики такие, как корреляционный, регрессионный, факторный анализ и др. Необходимой предпосылкой использования данных методов является знание законов распределения случайных факторов, воздействующих на систему, а также неизменность внешних условий. Очевидно, что для экономических систем эти предпосылки в ряде случаев не выполняются, что ограничивает область эффективного применения статистических методов для поддержки принятия решений по управлению экономическими объектами.

Указанные недостатки данных методов, обуславливают необходимость использования для прогнозирования состояния экономических систем, подходов основанных на интеллектуальном анализе данных. Интеллектуальные методы анализа данных, относящиеся ко второй группе методов прогнозирования состояния сложных экономических систем, могут основываться на трех подходах. Первый заключается в том, что в системе фиксируется опыт эксперта, который и используется для прогнозирования ситуации. Данный подход реализуется, например, в системах с нечеткой логикой.

Второй подход базируется на анализе ретроспективных данных с целью выявления скрытых тенденций, закономерностей, взаимосвязей и перспектив развития системы, учет которых помогает повысить качество принимаемых решений. Типичными представителями этого подхода являются методы искусственных нейронных сетей.

В соответствии с третьим подходом, представляющим собой комбинацию первых двух, анализ ретроспективных данных ведется с учетом представлений эксперта об особенностях функционирования системы. Такой подход используется в методах, так называемых гибридных, или нейро-нечетких, сетей.

Нейронные сети способны выявлять не очевидные на первый взгляд закономерности и взаимосвязи между параметрами системы, но процесс их обучения зачастую происходит достаточно медленно, кроме того, какую-либо априорную информацию для ускорения процесса обучения в нейронную сеть ввести невозможно.

Нечеткие системы, напротив, позволяют учитывать знания экспертов по исследуемой проблеме, но не могут автоматически приобретать знания для использования их в механизмах выводов. Кроме того, системам с нечёткой логикой присущи недостатки, характерные для всех экспертных систем.

Нейро-нечеткие методы лишены многих из перечисленных недостатков и могут успешно использоваться для построения моделей сложных систем, в случае если объем имеющихся исходных данных достаточен для их обучения. Однако довольно часто в задачах принятия решений по управлению электроэнергетическим предприятием встречаются ситуации, когда последнее условие не выполняется: исходные данные бывают представлены малыми выборками в пространствах большой размерности. В диссертации предложено использовать механизмы самоорганизации для обучения нейро-нечетких сетей, позволяющие в условиях ограниченности исходной информации вырабатывать приемлемые по точности прогнозы изменения конъюнктуры рынка электроэнергии.

Во второй главе приводится обоснование возможности и целесообразности использования методов искусственного интеллекта при прогнозировании конъюнктуры рынков электроэнергии.

Проведенный в работе анализ состояния электроэнергетики России позволил выявить следующие проблемы отрасли.

1. Высокая степень износа основных фондов электроэнергетических предприятий (в 2002г. в среднем по отрасли 52%) при одновременном росте электропотребления (рис.1).

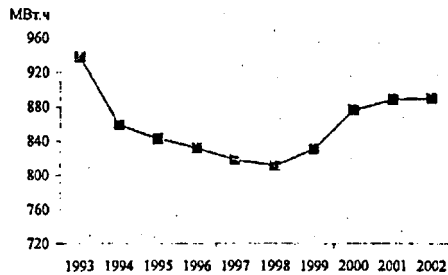


Рис.1. Производство электроэнергии электростанциями России

По предварительным прогнозам ожидаемый прирост электропотребления в России до 2008 года составит около 7,1% при умеренном сценарии развития экономики, и около 10,6% - при оптимистичном; в то же время к 2015 г. вырабатывают парковый ресурс 62% генерирующих мощностей.

2. Отсутствие у электроэнергетических предприятий собственных средств, необходимых для обновления и модернизации мощностей, связанное с неэффективной тарифной политикой государства.

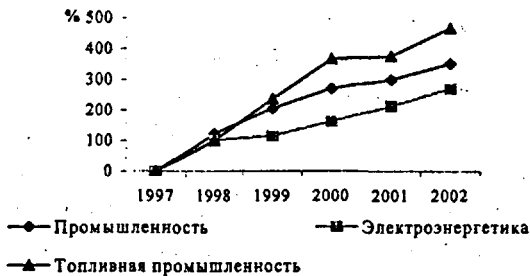


Рис.2. Динамика цен на продукцию по отраслям к уровню 1997 г.

На протяжении последних пяти лет сохранялась тенденция опережающего роста тарифов на топливные ресурсы по сравнению с тарифами на продукцию электроэнергетики (рис.2), что при высокой топливной составляющей в себестоимости электроэнергии привело к снижению уровня рентабельности электроэнергетической продукции.

3. Низкая инвестиционная привлекательность отрасли и отсутствие значительных внешних инвестиций.

Перечисленные проблемы электроэнергетики актуальны и для Смоленской области. Средний износ основных фондов по предприятиям ОАО «Смоленскэнерго» превышает отраслевые показатели на 17%. Некоторые блоки на Дорогобужской ТЭЦ и Смоленской ТЭЦ-2 изношены более, чем на 90%. Уровень рентабельности продукции в 1999-2000 гг. был минимален, но к 2002 году ситуация несколько улучшилась (табл.1).

Таблица 1

Основные показатели деятельности ОАО «Смоленскэнерго»

Показатель	1999	2000	2001	2002
Выручка от реализации продукции, тыс. руб.	943001	893086	1089577	1595752
Прибыль от реализации, тыс. руб.	24072	18360	80116	164151
Рентабельность продукции, %	2,6	2,1	7,9	11,6
Износ основных фондов, %	64	66	68	70

Необходимость решения перечисленных проблем явилась предпосылкой реформирования электроэнергетики с целью повышения эффективности работы предприятий отрасли и создания благоприятных условий для развертывания масштабного инвестиционного процесса, жизненно необходимого в условиях начавшегося экономического роста.

В условиях рыночной экономики управление функционированием и развитием электроэнергетических предприятий должно строиться с учетом специфики отрасли. Характерная для электроэнергетики синхронность процессов потребления и производства электроэнергии предопределяет непосредственную связь между режимом потребления и режимом работы генерирующих предприятий. Согласованность графиков потребления и генерации является важнейшим для энергообъединения показателем, определяющими основные аспекты его работы - графики работы станций, договоры на поставку топлива, графики ремонтных работ, объемы покупки и продажи электроэнергии на федеральном рынке электроэнергии. Следовательно, от точного прогнозирования электропотребления зависит эффективность работы как отдельных электроэнергетических предприятий работающих в рыночных условиях (генерирующих, сбытовых), так и энергосистемы в целом.

Прогнозирование электропотребления необходимо проводить в следующих временных диапазонах: оперативном (в пределах текущих суток); краткосрочном (сутки-неделя-месяц); долгосрочном (месяц-квартал-год). На каждом из этих интервалов необходимо учитывать различные факторы, влияющие на уровень электропотребления. Так в долгосрочной перспективе основное влияние оказывают факторы, связанные с изменением структуры потребителей и сезонностью; в краткосрочной - метеоусловия и график работы предприятий; в пределах суток на почасовом потреблении сказывается и такой фактор как показ рейтинговых передач по телевидению.

Зависимость уровня электропотребления от всех этих факторов имеет существенно нелинейный характер, поэтому использование для его прогнозирования традиционных методов не позволяет в полной мере получить требуемое качество прогноза. В работе показано, что более перспективными методами решения подобных задач являются методы искусственного интеллекта, к которым относятся и нейро-нечеткие методы.

В третьей главе приводятся методические основы и алгоритмы построения математических моделей рынка электроэнергии на основе самоорганизующихся нейро-нечетких сетей.

Предлагаемый метод построения модели рынка электроэнергии базируется на подходе, наиболее близком к комбинаторному МГУ А, в соответствии с которым построение исходной модели осуществляется путем полного перебора всевозможных частных моделей из заданного базиса с выбором лучшей из них

по некоторому критерию селекции. При переборе сложность частных моделей, то есть число аргументов (факторов, влияющих на рынок электроэнергетики) постепенно наращивается от 1 до максимального числа N (максимальное число учитываемых факторов). В рассмотренном в работе методе предлагается использовать в качестве частных моделей обученные нейро-нечеткие сети.

Пусть имеется ретроспективная информация о рынке электроэнергии, представленная в виде базы данных - матрицы U , элементами которой являются характеристики рынка в определенные моменты времени (число точек наблюдения - M).

Построение модели с помощью данного метода представляет собой процесс, состоящий из A : уровней селекции (итераций), на каждом из которых формируется i частных моделей, где $i = 1 \dots C_N^k$, $k \leq N$.

На каждой итерации можно выделить три основные стадии.

1. Формирование обучающих выборок и подготовка структур частных моделей.

Формирование обучающих выборок формализуется с помощью структурного вектора $d = [d_1 \ d_2 \ \dots \ d_N]^T$: если элемент d_k этого вектора принимает значение 1, то соответствующий k -й аргумент включается в частную модель, если 0 - не включается.

Выражение для получения частной выборки, используемой для построения k -ой модели уровня k , может быть записано следующим образом:

$$M_{M \times N}^{(i,k)} = U \cdot d = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1N} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2N} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{M1} & x_{M2} & \dots & x_{MN} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_N \end{bmatrix} \quad (1)$$

где U - исходное множество входных параметров.

В итоговую выборку $X_{M \times A}^{(i,k)}$ включаются столбцы матрицы $M_{M \times N}^{(i,k)}$, содержащие ненулевые значения.

При проектировании структуры k -ой частной модели уровня k предполагается, что она может быть описана экспертами в виде совокупности правил нечеткого вывода. Один из возможных вариантов представления таких правил для уровня k имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Если } [(x_1 \text{ есть } A_{11}) \text{ и } (x_2 \text{ есть } A_{21}) \text{ и } \dots (x_k \text{ есть } A_{k1})] \text{ то } (y \text{ есть } B_1) \\ \text{Если } [(x_1 \text{ есть } A_{1j}) \text{ и } (x_2 \text{ есть } A_{2j}) \text{ и } \dots (x_k \text{ есть } A_{kj})] \text{ то } (y \text{ есть } B_j) \\ \dots \\ \text{Если } [(x_1 \text{ есть } A_{1n}) \text{ и } (x_2 \text{ есть } A_{2n}) \text{ и } \dots (x_k \text{ есть } A_{kn})] \text{ то } (y \text{ есть } B_n) \end{array} \right. \quad (2)$$

где A_{hj} - функция принадлежности переменной x_h h -ом правиле, $h=1\dots k$,
 B_j - функция принадлежности выхода y в j -ом правиле,
индексация переменных x_h ведется по базису частной выборки $X_{M \times k}^{(i,k)}$,
 u - число правил нечеткого вывода, $j=1\dots n$.

Вид функций принадлежности и число правил n также задается экспертами.

Далее с помощью специальных инструментов создается структура нечеткой системы, реализующей механизм логического вывода в соответствии с приведенными правилами. Спроектированные нечеткие системы сохраняются в базе знаний модели.

2. Генерирование частных моделей нейронной сетью.

На основе спроектированных на предыдущем этапе систем нечетких производственных правил создаются гибридные или нейро-нечеткие сети. Каждая сеть содержит пять слоев нейронов: количество нейронов в первом слое равно числу входных переменных k , число нейронов в скрытых слоях соответствует количеству нечетких правилу, выходной слой имеет всего один нейрон. Функции, выполняемые нейронами каждого слоя, определяются механизмом нечеткого вывода, заложенным в основу функционирования сети.

На вход каждой построенной сети подаются обучающие последовательности, полученные путем разбиения выборки $X_{M \times k}^{(i,k)}$, сформированной на первой стадии, на две приблизительно равные части. В процессе обучения сети по какому-либо из известных алгоритмов, например, алгоритму обратного распространения ошибки, происходит настройка параметров функций принадлежности входных и выходных переменных.

Обученная нейро-нечеткая сеть представляет собой частную модель, описывающую зависимость исследуемого показателя y от некоторых k факторов из полного информационного базиса U . Соответственно модели, построенные на выборках $A_{M \times k}^{(i,k)}$ и $B_{M \times k}^{(i,k)}$, можно обозначить, как $f_A^{(i,k)}$ и $f_B^{(i,k)}$.

3. Отбор лучших моделей по критерию минимума смещения.

Для расчета показателей смещения на вход каждой модели k -ого уровня подается выборка $X_{M \times k}^{(j,k)}$, и определяются оценки выходов $\hat{Y}_A^{(j,k)}$ и $\hat{Y}_B^{(j,k)}$:

$$\hat{Y}_A^{(j,k)} = f_A^{(j,k)}(X_{M \times k}^{(j,k)}), \quad (3)$$

$$\hat{Y}_B^{(j,k)} = f_B^{(j,k)}(X_{M \times k}^{(j,k)}). \quad (4)$$

На основе полученных оценок рассчитывается значение показателя смещения, который может быть записан в следующем виде:

$$n_{CM}^2{}^{(j,k)} = \frac{1}{M} \cdot (\hat{Y}_A^{(j,k)} - \hat{Y}_B^{(j,k)})^T \cdot (\hat{Y}_A^{(j,k)} - \hat{Y}_B^{(j,k)}). \quad (5)$$

Далее производится отбор лучших моделей k -ого уровня по следующим правилам:

- если $k > 1$, то условие отбора имеет вид

$$n_{CM}^2{}^{(j,k)} \leq \max_{l=1, L} (n_{CM}^2{}^{(j,k-1)}), \quad (6)$$

- если $k = 1$, то выбираются L моделей, для которых показатель $n_{CM}^2{}^{(j,k)}$ минимален (I-заданная свобода выбора).

В конце каждой итерации вычисляется среднее значение показателя смещения для уровня k по множеству выбранных моделей:

$$n_{CM}^2{}^{(k)} = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^L n_{CM}^2{}^{(j,k)} \quad (7)$$

и проверяется условие останова алгоритма

$$n_{CM}^2{}^{(k)} \geq n_{CM}^2{}^{(k-1)}. \quad (8)$$

Если условие (8) выполняется, то селекция прекращается и оптимальной признается размерность модели $k_{опт} = k - 1$. Поиск лучшей модели на уровне $k_{опт}$ ведется на основании критерия точности.

Найденная лучшая модель, представляющая собой обученную нейронечеткую сеть с количеством входов $k_{опт}$ записывается в базу знаний. В дальнейшем эта модель может использоваться для прогнозирования значения интересующего нас показателя y (выходной характеристики рынка электроэнергии) по известным значениям факторов X_* .

Четвертая глава посвящена описанию программных средств, реализующих предлагаемый метод, и результатов их практического применения для прогнозирования электропотребления в Смоленской области.

Разработанный в рамках проводимого исследования программный комплекс FuzzyExpert, реализующий разработанные методы и алгоритмы, состоит из трех основных блоков: базы знаний, интерфейса пользователя и вычислительного модуля, и используется в качестве элемента системы поддержки принятия решений по управлению электроэнергетическим предприятием.

База знаний включает: одну или несколько баз данных, систему управления базами данных (СУБД) и модели, в виде обученных гибридных нейронных сетей, позволяющие извлекать знания из имеющихся данных. Интерфейс пользователя представляет собой программную оболочку, созданную средствами Delphi 7, основное назначение которой - интеграция между БД и вычислительным модулем. Кроме того, через него осуществляется обмен данными между программным комплексом и внешними приложениями. Основные процедуры обработки данных в соответствии с рассмотренным в работе алгоритмом, выполняются в вычислительном модуле, реализованным на базе системы MATLAB с использованием средств пакета Fuzzy Logic Toolbox.

Программный комплекс может работать в одном из трех режимов:

- построения новых моделей в виде обученных нейро-нечетких сетей;
- настройки (адаптации) параметров существующих моделей на основе вновь поступающих данных;
- использования накопленных в базе знаний моделей для решения задач прогнозирования.

С помощью разработанного программного комплекса были построены модели краткосрочного (по суткам) прогнозирования электропотребления. Перечень факторов, учитываемых при составлении прогноза, в виде названий лингвистических переменных и терм-множеств их значений приведен в таблице 2.

Таблица 2

Лингвистические переменные, используемые для прогнозирования электропотребления

Наименование переменной	Терм-множество
день недели	{“Рабочий день”, “Выходной”}
температура	{“Низкая”, “Средняя”, “Высокая”}
облачность	{“Пасмурно”, “Переменная”, “Ясно”}
световой день	{“Короткий”, “Средний”, “Длинный”}
влажность	{“Низкая”, “Средняя”, “Высокая”}

Разработанный программный комплекс используется на предприятии ОАО "Смоленскэнергосбыт" для прогнозирования электропотребления. Применение указанного программного комплекса позволило значительно повысить точность прогнозов: средняя ошибка прогнозирования - 3,27% (при использовании существующих методов - 5,4%), максимальная - не превышает 6% (11,4%). Доля случаев выхода прогноза за предел 5% (предел отклонений потребления в регулируемом секторе оптового рынка энергии и мощности) составляет 0,14, это значит, что, используя для прогнозирования электропотребления предложенные модели, предприятие оплачивает электроэнергию в секторе отклонений по повышенным тарифам лишь в четырнадцати случаях из ста (ранее указанный показатель был равен 0,28), причем в незначительных количествах, что позволяет снизить издержки и повысить эффективность работы (рентабельность продаж увеличилась на 4,15%).

В приложениях приведены иллюстрации, поясняющие работу предложенного метода и разработанного программного комплекса, статистические данные, которые использовались при построении моделей прогнозирования электропотребления.

Основные результаты работы и предложения

1. Проведен обзор существующих математических методов и инструментальных средств, используемых в системах поддержки принятия управленческих решений для прогнозирования показателей рыночной конъюнктуры, результаты которого показали перспективность использования методов искусственного интеллекта для решения указанной задачи.

2. Проведен анализ состояния и определены перспективы развития электроэнергетической отрасли и российского рынка электроэнергии, показавшие возможность и целесообразность использования самоорганизующихся нейронечетких моделей рыночной конъюнктуры в системах поддержки принятия решений по управлению электроэнергетическими предприятиями.

3. Разработаны методические основы построения математических моделей рынка электроэнергии и их использования в системах поддержки принятия решений по управлению электроэнергетическими предприятиями, которые основаны на механизмах самоорганизации нейро-нечетких сетей, что позволяет повысить качество прогнозирования показателей рыночной конъюнктуры.

4. Предложены алгоритмы построения математических моделей рынка электроэнергии на основе самоорганизующихся нейро-нечетких сетей, позво-

ляющих накапливать и использовать знания экспертов и осуществлять прогнозирование электропотребления в условиях ограниченности исходной информации.

5. Разработаны инструментальные средства прогнозирования показателей экономической конъюнктуры рынка электроэнергии, использующие процедуры построения самоорганизующихся нейро-нечетких моделей.

6. Выработаны научно-обоснованные рекомендации и методика по созданию интеллектуальной информационной системы поддержки принятия решений по управлению деятельностью электроэнергетического предприятия.

7. На основе теоретических и методических результатов диссертационной работы разработан программный комплекс, представляющий собой экспертную систему прогнозирования показателей рыночной конъюнктуры электроэнергетического предприятия. Данный комплекс может использоваться на электроэнергетических предприятиях любого профиля (генерирующих, сбытовых) для повышения эффективности принятия решений по управлению этими предприятиями.

8. Разработанная информационная система поддержки принятия управленческих решений практически используется на предприятии ОАО "Смоленскэнергосбыт" для краткосрочного прогнозирования электропотребления, что позволяет повысить качество принимаемых решений по оперативному планированию производственно-хозяйственной деятельности организации.

Основное содержание диссертации нашло отражение в следующих **опубликованных работах:**

1. Стоянова О.В. Проблемы практического использования математических моделей в процессе принятия управленческих решений // Сб. тр. рег. научн.-техн. конф. «Информационные технологии, ресурсосбережение, энергетика и экономика». Т 3. - Смоленск, 2003. - С. 22-25.

2. Стоянова О.В. Некорректные задачи моделирования в экономических исследованиях // Сб. тр. рег. научн.-техн. конф. «Информационные технологии, ресурсосбережение, энергетика и экономика». Т 3. - Смоленск, 2003. - С. 68-70.

3. Дли М.И., Стоянова О.В. Построение математических моделей экономических систем в условиях минимума априорной информации // Филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Смоленске. - Деп. в ВИНТИ РАН № 945-В2003.

4. Стоянова О.В. Использование принципа самоорганизации моделей и аппарата гибридных нейронных сетей для моделирования управленческих решений // Сб. тр. 8-ой межд. научн.-практ. конф. «Актуальные проблемы управления - 2003». - М : ГУУ, 2003. - С.134-135.
5. Стоянова О.В. Использование гибридного метода группового учета аргументов для решения задачи планирования инвестиций // Сб. тр. 9-ой республ. научн. конф. «Современные проблемы информатизации». - Воронеж, 2004.- С.47-48.
6. Стоянова О.В. Определение оптимальной размерности модели при моделировании сложных систем // Сб. тр. 10-ой межд. науч.-техн. конф. «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». Т 1. - М., 2004.- С. 299-300.
7. Стоянова О.В. Интеллектуальные информационные системы поддержки принятия решений // Сб. тр. межрег. научн.-техн. конф. «Информационные технологии, энергетика и экономика». Т 4. - Смоленск, 2004. - С. 45-48.

Подписано в печать 20.04.04 Зак. 141 Тир. 100 П.л. 1,25
Полиграфический центр МЭИ (ТУ)
Красноказарменная ул., д. 13