

$$B = \begin{pmatrix} -7,24 \cdot 10^{-4} \\ -0,087 \\ 0,209 \\ -0,074 \\ -0,440 \\ -0,061 \end{pmatrix};$$

$$C = \begin{pmatrix} 129,8 & -144,2 & 18,43 & -23,21 & -3,233 & -4,911 \\ 582,1 & 4,995 & 2,230 & 1,596 & -2,587 & 4,100 \end{pmatrix}.$$

Сравнение моделируемого выходного процесса с реальными данными показано на рис. 4. Видно, что модель демонстрирует сложное динамическое поведение, адекватное рассматриваемому теплообменному процессу.

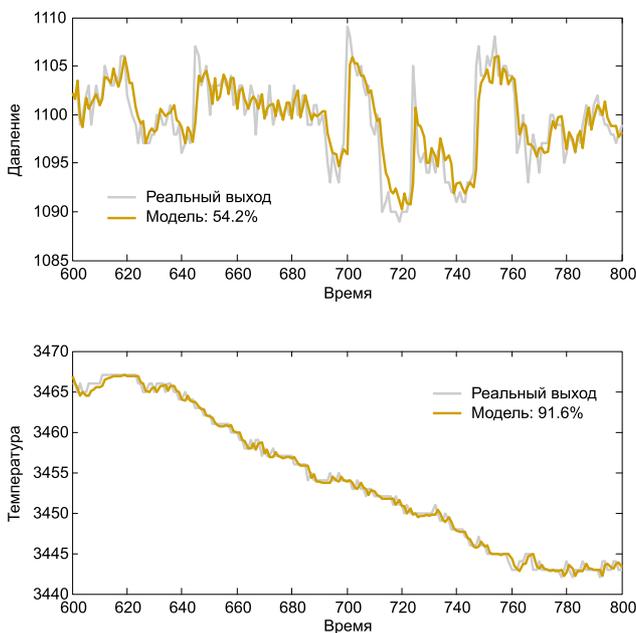


Рис. 4. Сравнение результатов моделирования с реальными данными

*Никулчев Евгений Витальевич — канд. техн. наук, доцент кафедры управления и моделирования систем Московской государственной академии приборостроения и информатики (МГАПИ).*

*Контактный телефон (095) 268-37-75.*

*E-mail: nikulchev@mail.ru*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЙСТВИЙ ЭКСПЕРТОВ В ПРОЦЕССЕ ПРИНЯТИЯ ИМИ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

**А.С. Мандель (ИПУ РАН)**

*Рассматриваются возможности моделирования действий экспертов в процессе принятия ими прогностических решений. Эксперты работают при поддержке экспертно-статистической системы прогнозирования по методу аналогов ЭКСПАМ.*

### Введение

При решении проблемы управления предприятием важнейшую роль играет удовлетворительное по точности решение задач прогнозирования в подсистемах логистики, управления финансовыми потоками и сбытом и других организационных подсистемах предприятия. От качества решения этих задач может зависеть итоговый результат работы предприятия на конкурентном рынке — процветать, жить

дальше или разоряться. Опыт двух последних десятилетий убедительно свидетельствует о том, что полностью перепоручить решение соответствующих вопросов автоматической системе управления пока не удастся, поскольку конечный результат деятельности предприятия направлен на удовлетворение случайно меняющихся потребностей рынка, да еще в условиях его — рынка — заметной нестабильности. К тому же выборки данных, которыми располагают

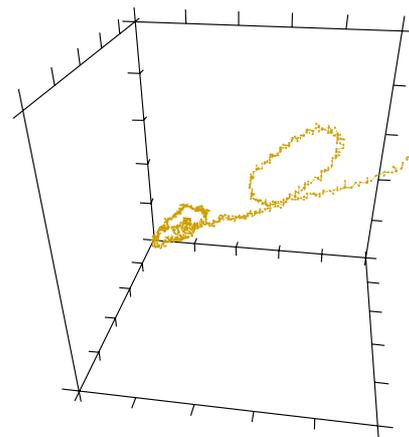


Рис. 3. Реконструированный фазовый портрет

В результате применения метода к системе теплообмена получены регулярные модели, имеющие адекватное реальному процессу поведение.

### Список литературы

1. Packard N.H., Crutchfield J.P., Farmer J.D., Shaw R.S. Geometry from a time series // Phys. Rev. Lett. 1980. V. 45. P. 712-716.
2. Takens F. Detecting strange attractors in turbulence // Dynamical Systems and Turbulence / Eds. D. A. Rand, L.-S. Young. Berlin, Springer, 1981. P.366-381.
3. King G.P., Steward I. Phase space reconstruction for symmetric dynamical systems // Physica D: Nonlinear Phenomena. 1992. V. 58. P. 216-228.
4. Никулчев Е.В. Использование групп симметрий для идентификации сложных систем // Вычислительные технологии. 2004. Т.9. №3.
5. Ljung L. System Identification — Theory for the User. 2nd edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, N.J., 1999.
6. Никулчев Е.В. Simulink как средство исследования дифференциальных моделей // Exponenta Pro. Математика в приложениях. 2004. №1(5).

соответствующие службы при решении вопросов прогнозирования, нередко оказываются слишком короткими для получения статистически достоверных выводов и прогнозов. Именно поэтому наиболее разумным подходом к решению проблемы прогнозирования результатов деятельности предприятия является соединение усилий специалистов-экспертов и специально для них разработанных систем поддержки принятия решений (СППР).

#### Экспертно-статистический подход к принятию прогностических решений

В последние годы создано немало СППР [1]. Ключевой особенностью подобных систем является то, что они всегда (или почти всегда) используются в режиме советчика. Это объясняется тем, что вся полнота ответственности за принимаемые решения возлагается на лиц, принимающих решение (ЛПР). Поэтому, сколь бы ни была совершенна применяемая СППР, пользующееся ее услугами ЛПР, как минимум, авторизует предлагаемые СППР рекомендации, а чаще всего вносит в них определенные коррективы. В процессе такой корректировки ЛПР может прибегнуть к помощи и консультациям экспертов, предоставив им все имеющиеся в его распоряжении данные, включая применяемую им в процессе принятия решений СППР. В результате принимается решение, которое либо выработано коллективом экспертов и авторизовано ЛПР, либо согласовано в коллективе, образованном ЛПР и всеми привлеченными экспертами [2] (в этом случае будем называть ЛПР главным экспертом).

Принимая решение, главный эксперт опирается на информацию двух типов: данные, почерпнутые из объективных источников ("результаты измерений" и построенные в процессе идентификации — стало быть проверенные — математические модели: будем называть всю эту совокупность сведений статистической информацией), и данные "субъективного" происхождения (оценки, точки зрения, мнения экспертов и фундаментальные модели, которые описывают некоторые принципиальные особенности рассматриваемых ситуаций, но не позволяют получать точных количественных оценок: будем называть соответствующую совокупность сведений экспертной информацией). Способы обработки таких разнородных данных получили в конце 80-х — начале 90-х гг. прошлого столетия (см., например, обобщающую работу [3]) название экспертно-статистических, а основанные на них СППР — экспертно-статистических СППР.

В 2002-2003 гг. под руководством и при участии автора статьи была разработана экспертно-статистическая система поддержки принятия прогностических решений — система ЭКСПАМ [4]. Система рассчитана на оказание поддержки процессу принятия прогностических решений (то есть процессу вы-

бора значений формируемых прогнозов) в тех случаях, когда, во-первых, объем статистических сведений недостаточен для построения достоверных прогнозов и, во-вторых, если ЛПР предполагает, что в поведении регистрируемых приборами объективных данных не отражены какие-то важные природные особенности наблюдаемых процессов и ситуаций и достоверное прогнозирование требует привлечения дополнительных сведений.

Система ЭКСПАМ нашла применение в различных системах маркетинга при прогнозировании спроса на вновь выпускаемые на рынок товары и услуги. Основой системы ЭКСПАМ является идея прогнозирования по аналогии. При этом среди ранее выпускавшихся на рынок товаров и услуг экспертами выбираются те товары и услуги, которые — по мнению экспертов — похожи на вновь выпускаемые. Это позволяет значительно расширить статистическую базу процесса прогнозирования. Суть заложенных в систему ЭКСПАМ процедур прогнозирования по аналогии подробно описана в работе [5] и сводится к организации различных вариантов диалога между экспертом (ЛПР) и СППР в процессе подбора, уточнения и корректировки множества аналогов и последующего выбора окончательного варианта прогноза. В систему включен ряд настраиваемых параметров (коэффициенты масштаба, сходства, весовые, соизмеряющие значимость вновь поступающих данных и ретроспективной информации, и многие др.). Основные блоки системы ЭКСПАМ представлены на рис. 1.



Рис. 1. Основные блоки системы ЭКСПАМ

В процессе работы эксперта с СППР ЭКСПАМ осуществляется оценка отобранных им аналогов и в диалоговом режиме формируются рекомендации по изменению множества аналогов (сопровождающиеся комментариями по поводу аналогов, уже отобранных экспертом).

#### Процедура принятия решений и оценка достоверности прогнозов, рекомендуемых СППР ЭКСПАМ

Итак, имеется некий эксперт или группа экспертов, которые являются высококвалифицированными специалистами в рассматриваемой предметной области и которым предстоит осуществить прогнозирование на основе всех имеющихся знаний и данных. В распоряжение экспертов предоставлена СППР (в данном случае система ЭКСПАМ), которая представляет собой некоторую разновидность экспертно-статистической системы (ЭСС) обработки данных. При этом цель обработки сводится к то-

му, чтобы сформировать какие-то варианты прогнозов, произвести упорядочение рассматриваемых вариантов прогнозов, а в идеальном случае выбрать даже рекомендуемый ЭСС оптимальный прогноз.

Получив от СППР выработанные ею рекомендации, а также ряд связанных с ними аналитических оценок, эксперт формирует собственное представление о качестве предоставленных ему аналитических материалов и осуществляет сравнительную оценку альтернатив решений (производит упорядочение рассматриваемых вариантов решений или даже делает попытку выбора оптимального с его точки зрения решения). Эти решения эксперта (или экспертов), включая те или иные варианты оценок качества представленных эксперту аналитических материалов, сообщаются ЭСС (СППР). Так реализуется обратная связь, которая позволяет осуществить корректировку совокупности заданных в СППР математических моделей.

После выработки экспертом вариантов решений они поступают на рассмотрение ЛПР, которое и производит их окончательную корректировку. Результаты этой корректировки также сообщаются ЭСС. Естественно, в качестве ЛПР может выступать и сам эксперт. В последнем случае отсутствует необходимость рассматривать последнюю фазу корректировки отдельно, и она включается в процедуру выбора согласованного решения.

Подобная схема выработки решений является итеративной и позволяет осуществить обучение СППР, которая в данном варианте представлена в форме ЭСС.

Важно понимать, что в данном случае осуществить предварительное обоснование достоверности формируемых с помощью СППР прогнозов исключительно сложно, и причин тому несколько [6]. Естественно, наиболее четким свидетельством достоверности всегда является практика, результаты опытно-промышленной эксплуатации, иначе говоря, сопоставление фактически полученных результатов с ожидаемыми (в соответствии с используемыми в ЭСС математическими моделями). Однако, даже в относительно простом концептуальном случае решения задачи прогнозирования спроса на рынке следует считаться с тем, что, во-первых, процессы, которые происходят на рынке, являются весьма инерционными (как говорят экономисты, они имеют большие временные лаги, исчисляемые, как минимум, месяцами), а, во-вторых, наиболее адекватные для них математические модели оказываются, как правило, вероятностными, и, чтобы получить подтверждение достоверности таких моделей, надо собрать достаточно представительную статистику. Таким образом, общее время, которое может потребоваться на формирование убедительных статистических подтверждений того, что СППР работает эффективно, может оказаться достаточно велико.

Итак, одним из возможных доказательств достоверности предлагаемых системой рекомендаций яв-

ляется анализ результатов работы СППР, например, статистический анализ прогнозов, формируемых с помощью ЭСС прогнозирования. Для получения обоснованных выводов о достоверности формируемых СППР рекомендаций число сеансов работы с системой должно быть достаточно велико. При этом немаловажно и то, что эксперты-пользователи СППР должны согласиться на проведение значительного числа экспериментов с разрабатываемой системой, на основе которых можно будет делать выводы о достоверности формируемых системой рекомендаций. Только такой подход позволяет разработчикам проверять результаты работы системы в различных ситуациях, для различных объектов, при различном объеме имеющихся статистических данных об объектах. Например, можно попросить эксперта спрогнозировать временные ряды для различных объектов, принадлежащих к разным классам (в рамках одной и той же предметной области), находящихся в различных условиях, и т. д. Большое число сеансов работы эксперта с СППР может дать разработчикам значительный объем информации об особенностях используемых в СППР алгоритмов, о свойствах формируемых системой выводов и так далее.

Однако практически проведение значительного числа экспериментов с помощью "реальных" экспертов крайне затруднено. Главной причиной этого является отсутствие у экспертов времени на тестирование СППР. Кроме того, нередки ситуации, когда у экспертов нет и подлинной заинтересованности во внедрении СППР. Причиной тому может быть отрицательный опыт работы с другими СППР, недоверие к применению компьютерных систем для решения "творческих" задач вообще, "ревность" к системе, то есть опасения (необоснованные или обоснованные) того, что система вступит в "конкуренцию" с экспертом.

В подобной ситуации альтернативным подходом к получению значительного объема статистических данных о работе системы является имитационное моделирование, позволяющее получать необходимую информацию о формируемых системой рекомендациях за значительно меньшие отрезки времени и при несопоставимо меньших трудозатратах со стороны экспертов.

#### **Система имитационного моделирования ЭКСПРИМ для анализа эффективности функционирования системы СППР ЭКСПАМ**

Для преодоления отмеченных выше трудностей была разработана система имитационного моделирования ЭКСПРИМ, сердцевиной которой является совокупность математических моделей, аппроксимирующих действия эксперта в процессе принятия им прогностических решений. Система ЭКСПРИМ предназначена для решения задачи оценки достоверности действий эксперта при поддержке экспертно-статистических систем прогнозирования

(и, в частности, системы ЭКСПАМ) [7]. Для этого вся совокупность сведений о ранее изучавшихся объектах заносится в БД, которая представляет собой копию БД системы ЭКСПАМ, содержащей ретроспективные данные обо всех ранее наблюдавшихся объектах прогнозирования. Единичный сеанс моделирования заключается в том, что из числа

объектов, занесенных в БД, выделяется один или несколько объектов, которые считаются вновь наблюдаемыми (то есть ретроспективные данные по ним не учитываются). Эти выделенные объекты называются теперь объектами прогнозирования (ОП). В дальнейшем информация об ОП предьявляется виртуальному эксперту. Вначале эксперту сообщается только наименование ОП и набор связанных с ним атрибутов ОП. В последующем эта информация пополняется за счет "вновь поступающих" данных, то есть тех реальных данных об ОП, которые содержатся в БД и предьявляются по мере моделирования акта прогнозирования. Задача виртуального эксперта, действия которого моделируются в системе ЭКСПРИМ, заключается в том, чтобы, получив информацию об ОП:

- сформировать множество аналогов;
- получить от системы ЭКСПАМ комментарии по поводу этого множества аналогов;
- скорректировать множество аналогов;
- получить от системы ЭКСПАМ подсказку по поводу вариантов прогноза;
- выбрать значение прогноза;
- повторять эту процедуру по мере поступления новых данных на всем интервале времени, на протяжении которого задача прогнозирования остается актуальной.

В системе ЭКСПРИМ, подробно описанной в работе [6] (основные блоки системы ЭКСПРИМ показаны на рис. 2), реализована формализующая действия эксперта 18-параметрическая вероятностная модель. При этом предполагается, что в роли эксперта (экспертов) выступает специалист, способный, во-первых, производить осмысленный подбор аналогов и, во вторых, осуществлять (на основе отобранных аналогов) оценку и корректировку рекомендуемых ему СППР вариантов прогноза.

Эксперты различаются по уровню профессионализма и характерологическому типу. В системе ЭКСПРИМ профессионализм эксперта задается двумя параметрами (профессионализм 1-го и 2-го рода). Под "профессионализмом 1-го рода" понимается способность эксперта к правильному решению задачи классификации, то есть адекватному подбору аналогов, а характеристика "профессионализма 2-го рода" оценивает способность эксперта к точному решению главной задачи — прогнозирования. И в том, и другом, вариантах показатель профессионализма



Рис. 2. Основные блоки системы ЭКСПРИМ

принимает пять возможных значений. В случае "профессионализма 1-го рода" показатель профессионализма меняется от 5 (достоверный выбор наиболее близких аналогов) до 1 (полная неспособность разумного подбора аналогов, то есть полностью случайный выбор аналогов). В случае "профессионализма 2-го рода" показатель профессионализма меняется от 5 (способность к формированию абсолютно точных прогнозов) до 1 (полная неспособность самостоятельно вести процесс прогнозирования, когда эксперт-дилетант "беспрекословно" следует рекомендациям СППР). В совокупности оба параметра профессионализма позволяют моделировать поведение экспертов в широком диапазоне их умений — от уровня "волшебника" (уровень 5), которому никакая СППР и не надобна, до уровня абсолютного дилетанта (профана, который, по сути дела, не прогнозирует, а "гадает": уровень 1).

Кроме того, учитывается, что по характеру эксперты могут принадлежать к одному из трех типов: пессимистов, склонных к занижению прогнозов; оптимистов, склонных к завышению прогнозов; "нормостеников", не склонных ни завышать, ни занижать прогнозы.

Различные уровни профессионализма моделируются посредством задания различных метрик (расстояний) в пространстве признаков ОП, позволяющих оценивать удаленность ОП от объектов-кандидатов в аналогии и ряда вероятностных моделей, описывающих поведение эксперта на всех стадиях процесса прогнозирования. Если ОП задается отрезком временного ряда, то соответствующие вероятностные распределения и метрики определяются в том многомерном пространстве, точки которого изображают хранимые в БД СППР объекты-кандидаты в аналогии и рассматриваемый в качестве пробного ОП (рис. 3). Именно в этом пространстве формируются так называемые "группы схожести", руководствуясь которыми эксперт осуществляет не только подбор аналогов для рассматриваемого ОП, но и последующее прогнозирование.

Другими параметрами настройки являются "глубина просмотра" экспертом ситуации вперед, способность к критической и разумной корректировке ранее принятых решений, весовые коэффициенты соотнесения экспертом собственных "убеждений" и поступающей в масштабе РВ информации и ряд других.

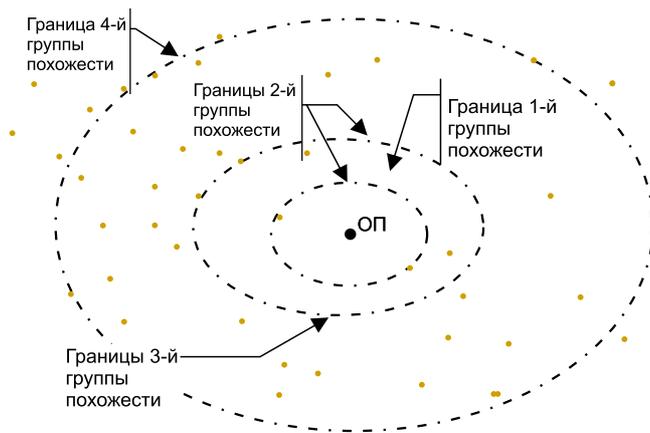


Рис. 3. Группы похожести

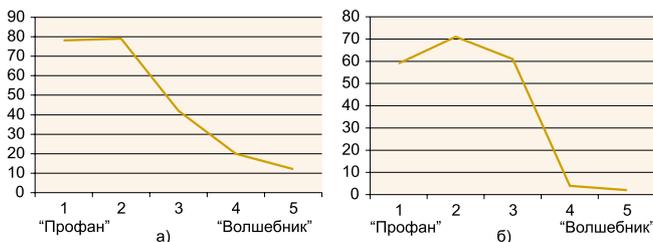


Рис. 4. Зависимость среднеквадратической ошибки прогноза первой точки временного ряда (случай полного отсутствия выборки) от уровня профессионализма 1-го рода для двух разных ОП при максимальном значении уровня профессионализма 2-го рода

Еще одним предположением, которое заложено в модельное описание процесса прогнозирования, является соображение о том, что действия моделируемого эксперта ориентированы на формирование как можно более точных прогнозов. Иначе говоря, в действиях эксперта присутствует сильная мотивация как можно более удачного решения задачи прогнозирования. То есть вариант задеирования в роли эксперта "круглого дурака", который способен игнорировать любые рекомендации и погубить работу самой замечательной СППР, не рассматривается. Именно поэтому в сеансе моделирования в системе ЭКСПРИМ чрезвычайно интересно наблюдать за тем, как при помощи системы ЭКСПАМ эксперт-дилетант, в конце концов, также приходит к правильным прогнозам. Этот якобы парадокс объясняется тем, что по мере накопления элементов выборки СППР начинает все активнее вмешиваться в работу эксперта, предлагая ему новые аналоги вместо ранее (и неудачно) им выбранных и более точные, чем его, эксперта, "шапочные" варианты прогнозов. На рис. 4 приводятся оценки точности прогнозирования первой точки для двух ОП при разных значениях показателя профессионализма 1-го рода (рис. 4, а) и максимальном значении профессионализма 2-го рода (рис. 4, б). В данном варианте низкий уровень зна-

чения показателя профессионализма 1-го рода (напомним, что собственно прогнозирование такие эксперты — с максимальным профессионализмом 2-го рода — ведут классно) может объясняться "ленью" экспертов (они не хотят тратить время на подбор аналогов). Впрочем, результаты показывают (см. графики), что из-за лени они проигрывают своим коллегам, которые не пренебрегают внимательным подбором аналогов.

Единичные сеансы прогнозирования с множеством отобранных для эксперимента ОП повторяются до тех пор, пока не будет собрана статистическая информация, достаточная для того, чтобы делать статистически обоснованные выводы о качестве процесса прогнозирования с использованием описываемой СППР.

В результате использования системы ЭКСПРИМ удалось сократить время выполнения проверочных тестовых экспериментов с системой ЭКСПАМ с нескольких месяцев до нескольких дней и даже часов. Кроме того, в процессе моделирования удалось выявить ряд опорных признаков, позволяющих при работе с реальными экспертами судить о том, с каким экспертом приходится иметь дело — профаном или "волшебником", пессимистом или оптимистом.

Системы ЭКСПАМ и ЭКСПРИМ нашли применение при разработке СППР в службах маркетинга и управления производством нескольких торгово-промышленных предприятий, и, в частности, концерна "Группа СОЮЗ" и АОЗТ "Торус Вингс". В настоящее время готовятся новые версии этих систем, предназначенные для применения в системах управления материально-техническим снабжением.

#### Список литературы

1. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. М.: СИНТЕГ, 1998.
2. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка переговоров при согласовании управленческих решений. М.: СИНТЕГ. 2003.
3. Мандель А.С. Экспертно-статистические системы в задачах управления и обработки информации. Часть I, II // Приборы и системы управления. №12. 1996. №2. 1997.
4. Беляков А.Г., Мандель А.С. Прогнозирование временных рядов на основе метода аналогов (элементы теории экспертно-статистических систем). Препринт. М.: ИПУ, 2002.
5. Мандель А.С. Метод аналогов в прогнозировании коротких временных рядов: экспертно-статистический подход // Автоматика и телемеханика. 2004. №4.
6. Беляков А.Г., Мандель А.С. Анализ достоверности выводов, формируемых с помощью экспертно-статистических систем. Препринт. М.: ИПУ, 2002.
7. Беляков А.Г., Мандель А.С., Борзенко Н.И. и др. Экспертно-статистические системы прогнозирования временных рядов и имитационно-оценочное моделирование // Проблемы управления. 2003. №3.

Мандель Александр Соломонович — д-р техн. наук, проф. МФТИ, зав. лабораторией Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН  
Контактный телефон (095) 334-89-69.