© Е.А. Внукова, 2008

УДК 553.042.001.572

Е.А. Внукова

ПРОГНОЗ ПОСТРОЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Семинар № 10

Изучая и анализируя ряды динамики, исследователи всегда стремились на основе выявленных особенностей изменения явлений в прошлом предугадать поведение рядов в будущем, т.е. построить прогноз. Сегодня при построении прогнозов используются в основном методы экстраполяции (продления) рядов, которые предполагают, что закономерность (тенденция) изменения, выявленная для определенного периода в прошлом, сохранится на ограниченном отрезке времени в будущем. Поскольку тенденция развития также может изменяться, то данные, полученные путем экстраполяции ряда, носят весьма вероятностный характер.

Хорошо известно, что те или иные предсказания статистики иногда не только не подтверждаются, но прямо противоположны действительному ходу изменения изучаемых показателей. Это доказывает, что прогнозирование, основанное только на обработке данных наблюдений, слишком рискованно и не учитывает множества взаимосвязанных факторов и моментов, которые способны изменить тенденцию развития в будущем.

Прогнозы могут строиться на длительный период (долгосрочные прогнозы) и на небольшие отрезки времени (краткосрочные). Естественно, что при этом методы прогнозирования могут и должны отличаться.

Метод экстраполяция подходит для краткосрочных прогнозов, где более важно исследовать влияние факторов, определяющих изучаемый показатель. В этом случае прогноз базируется как бы на факторах-симптомах, т.е. по состоянию отдельных факторов на данный период определяется состояние изучаемого показателя в будущем.

В условиях нестабильности экономики, наличия факторов качественной природы, которые невозможно предугадать, можно использовать имитационные модели, которые широко применяются для прогнозирования развития различных систем, в том числе и экономических. Имитационные модели точнее реагируют на непредсказуемые возмущения качественного характера, что существенно уменьшает ошибку прогнозирования. Имитационное моделирование может использоваться для прогнозирования, когда оценивается поведение системы при некотором предполагаемом сочетании рабочих условий.

В ЦСИ МГГУ была поставлена задача разработки механизма, который позволит с большой степенью вероятности предсказать поведение некоторых экономических показателей в долгосрочной перспективе в части производства и потребления минеральных ресурсов, и оценить возможное дальнейшее развитие минерально-сырьевой базы при из-

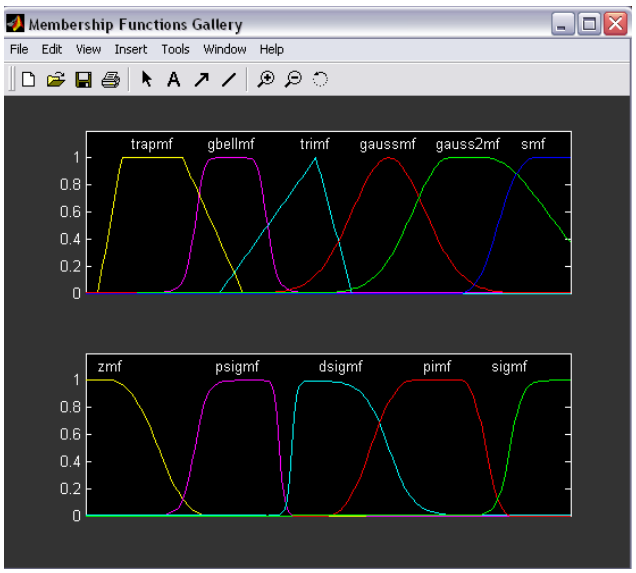

Рис. 1 Функции принадлежности в MATLAB

менении добычи какого-то вида ресурсов и уровня его потребления. Для реализации этой модели было просмотрено несколько видов моделей, и выбрана модель, основанная на нечеткой логике.

Логическую систему, о которой пойдет речь, в 1963 г. разработал американский математик Лотфи Заде (Lotfi Zadeh), чтобы преодолеть несоответствие между системами настоящего мира и их компьютерными воплощениями. Булевы значения истина-ложь воплощают в программах элементы системы с двумя значениями. В реальности мы редко имеем дело с такими системами, поскольку многие условия могут быть частично истинными, а частично ложными, или и теми и другими одновременно. Нечеткая логика (Fuzzy Logic) была придумана для того, чтобы позволить программам работать в диапазоне различных степеней истины. Вместо двоичных систем, отображающих только истину и ложь, были введены степени истины, которые действуют в диапазоне от 0,0 до 1,0 включительно.

Основная теорема FAT (Fuzzy Approximation Theorem), доказанная Б. Коско в 1993 г., гласит, что любая математическая система может быть аппроксимирована системой, основанной на нечеткой логике.

Степень принадлежности (или степень истины) заданного условия определяется *функцией принадлежности*. Программный продукт MATLAB, который использовался для создания модели, а именно, его приложение Fuzzy Logic Toolbox, позволяет использовать следующие типовые функции (рис. 1):

- Треугольная (trimf).
- Трапецеидальная (trapmf).
- Гауссова (gaussmf).
- Двойная гауссова (gauss2mf).
- Обобщенная колокообразная (gbellmf).
- Сигмоидальная (sigmf).
- Двойная сигмоидальная (dsigmf).
- Произведение двух сигмоидальных функций (psigmf).
- Z-функция.
- S-функция.
- Pi-функция.

Методы приведения к четкости (дефазификации), которые нашли наибольшее практическое применение в задачах нечеткого моделирования и стали в некотором смысле традиционными для систем нечеткого вывода показаны на рис. 2. Это:

- Wtynhjblysq vtnjl (centroid of area).
- Метод центра площади (bisector of area).
- Метод левого модального значения (Smallest Of Maximum, SOM).

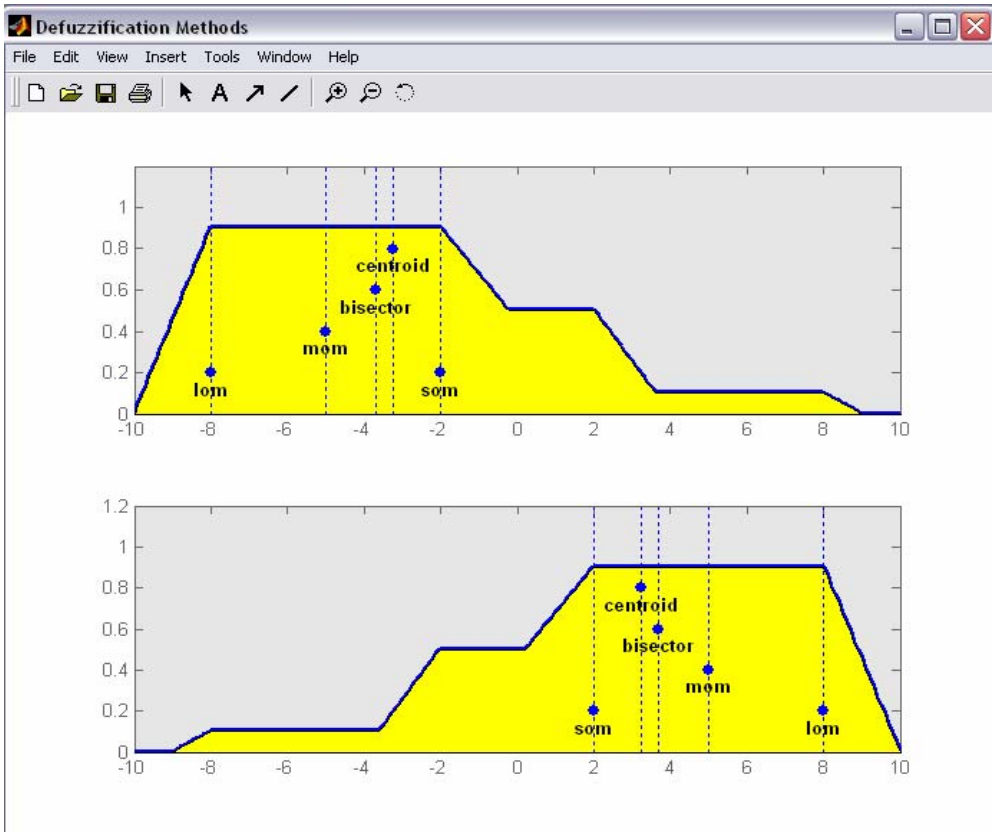

Рис. 2. Методы дефазификации в MATLAB

- Метод правого модального значения (Largest Of Maximum, LOM).
- Метод среднего модального значения (Mean Of Maximum, MOM).

Следует отметить, что кроме приведенных, для выполнения дефазификации в MATLAB могут быть предложены и другие методы.

Основная интерфейсная программа пакета Fuzzy Logic – редактор нечеткой системы вывода (FIS editor) (рис. 3). Входными переменными для нашей системы являются 4 параметра: производительность заводов, людские ресурсы, потребность в минеральном продукте и количество сырья, подлежащего переработке. Выходную переменную (количество чистого металла) получаем, используя логический контроллер Мамдани, который по теореме Кастро (1995 г.) при определенных условиях является универсальным аппроксиматором. Для модели были использованы двойная сигмоидальная функция, которая в последствии была заменена на нормальное гауссово распределение, и центроидный метод в качестве метода приведения к четкости.

Было построено несколько моделей, выходные данные для которых представлены на диаграмме 1.

Красная кривая *Apparent consumption of Al* отображает реальную статистику потребления алюминия в США с 1980 по 2004 гг. Синей и оранжевой пунктирными линиями показаны вы-

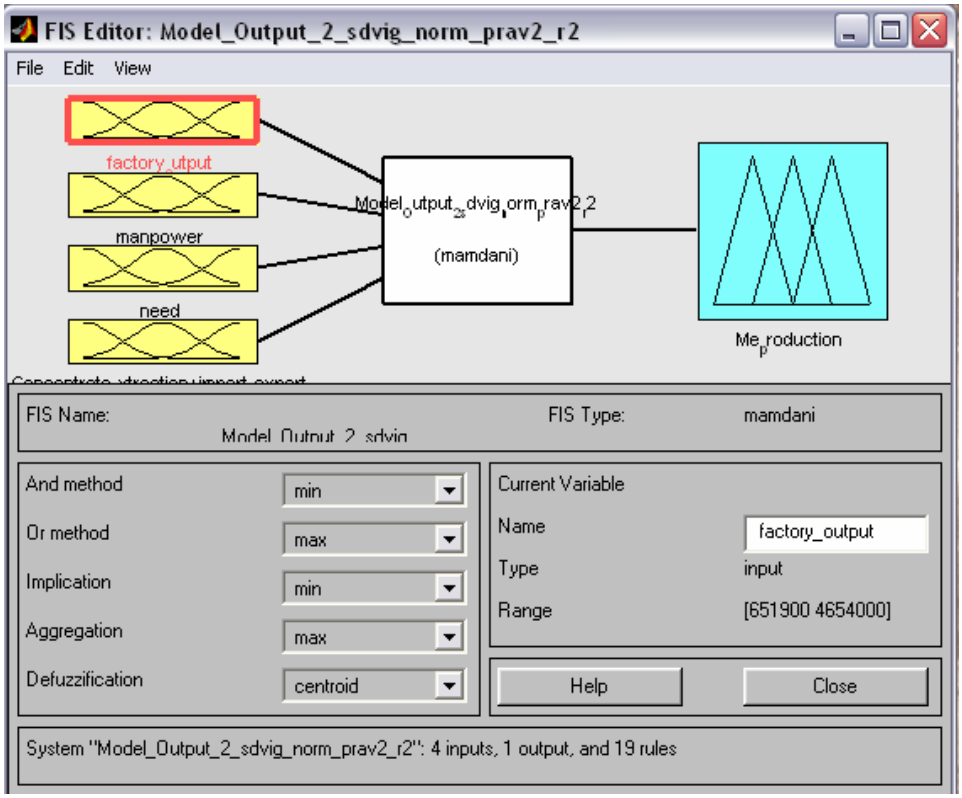

Рис. 3. Редактор нечеткой системы вывода

ходные данные для моделей, использующих обобщенную колокообразную функцию принадлежности. При изменении функции принадлежности на нормальное гауссово распределение, при том же наборе правил, имеем более адекватную кривую (показана зеленым цветом), не столь чувствительную, как предыдущие, однако, не вполне улавливающую тенденцию изменения выходного показателя.

Выходные данные для следующего семейство моделей показаны на Диаграмме 2. Можно заметить, что полученные кривые лучше улавливают качественное изменение эталонной красной кривой, и от раза к разу точность модели повышается. Последняя, наиболее приближенная к реальности кривая – бордового цвета, хотя и у нее наблюдаются некоторые погреш-ности.

На основании проведенных исследований, был сделан вывод, что входные переменные (факторы) имеют вероятностный характер влияния на выходную величину. В зависимости от экономической ситуации, социальных причин, интенсивности развития экономики данного периода и проч. влияние одних и тех же факторов в разные годы различно; т.е. одной моделью система описана быть не может: увеличивая точность на одном отрезке, мы получаем расхождения на других участках кривой. Поэтому, необходимо разбить временной интервал на несколько периодов, характеризуемых одними и теми же свойствами, и исследуя каждый в отдельности,

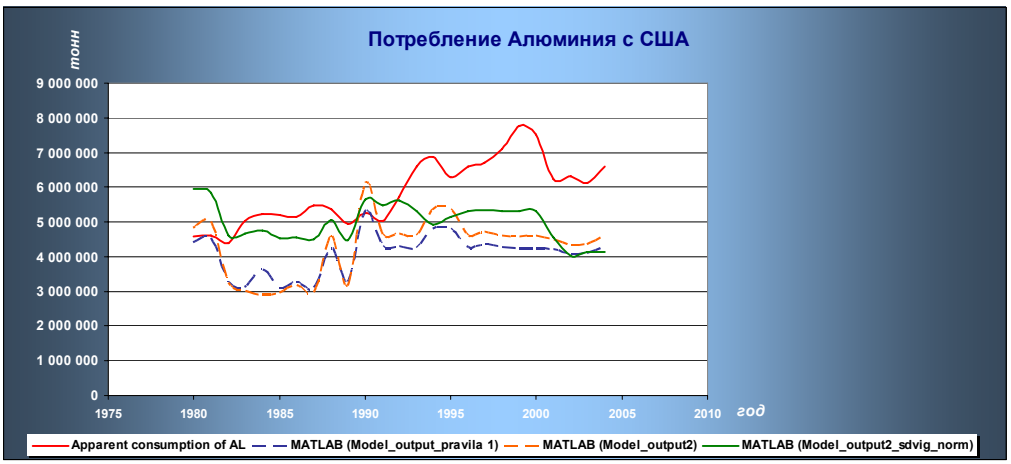

Диаграмма 1. Потребление алюминия с США

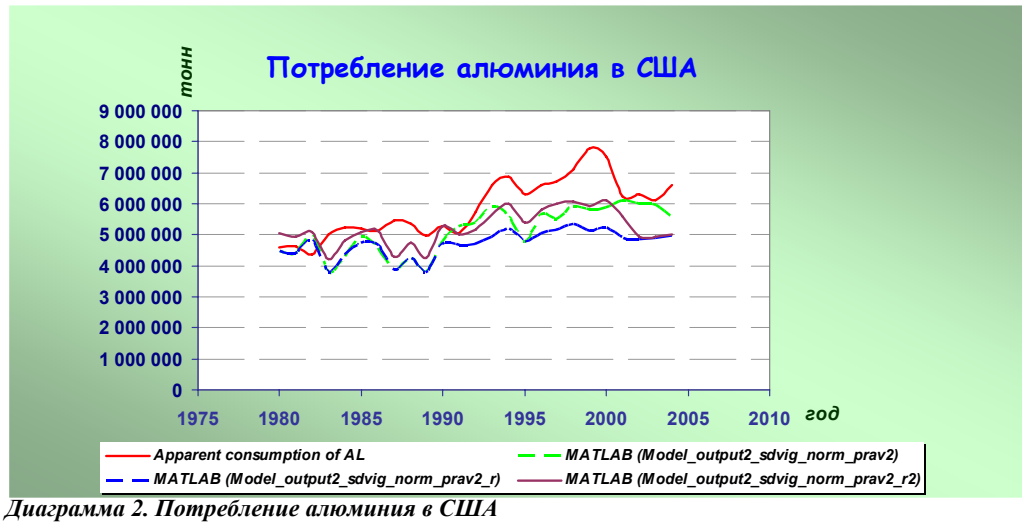

Диаграмма 2. Потребление алюминия в США

построить семейство моделей, описывающих потребление на всем промежутке времени. Для этого необходимо ввести дополнительную входную переменную и механизм, определяющий конкретную модель, которую необходимо использовать для прогнозирования в каждом конкретном периоде.

Действительно, если посмотреть на характер кривой с 80 по 90 гг. и с 90 по 2002, можно заметить, что эти кусочки как бы повторяют друг друга с разной интенсивностью, т.е. для них можно использовать одну модель, с разными значениями для мат. ожидания.

В контексте представления модели в физической пирамиде потребления минеральных ресурсов, можно сказать, что она находится на 3ем уровне - потребление чистого металла. Совокупность таких моделей для всех минеральных продуктов группы цветных металлов, и

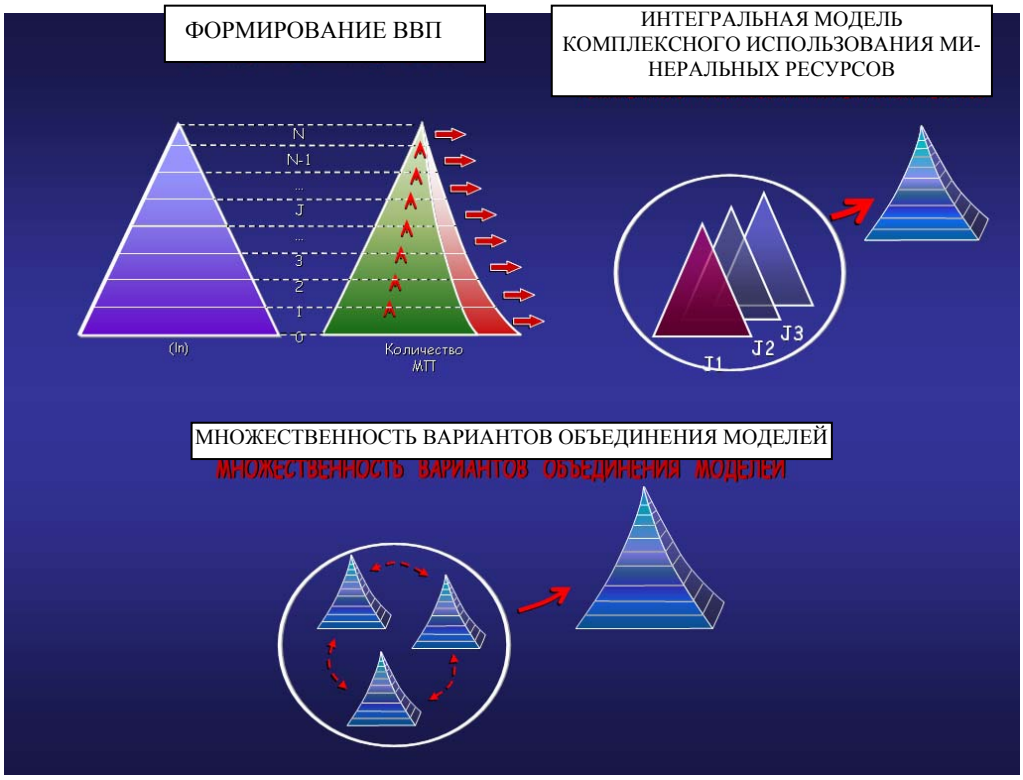

Рис. 4. Модели использования минеральных ресурсов

объединение их с группами драгоценных металлов, энергетических и промышленных минералов, группой железа и ферросплавов, в последствии даст общую картину потребления минеральных ресурсов (рис. 4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дьяконов В.П., Круглов В.В.* MATLAB 6.5 SP1/7/7 SP1/7 SP2 + Simulink 5/6 Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики. Серия «Библиотека профессионала». – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2006. – 456с.: ил.

2. *Джонс М.Т.* Программирование искусственного интеллекта в приложениях – М.: ДМК Пресс, 2006 – 312 с.:ил.

3. *Громыко Г.Л.* Теория статистики: Учебник. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2006. – 476 с. ГИАБ

Коротко об авторах

Внукова Е.А. – аспирантка, Московский государственный горный университет.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 10 симпозиума «Неделя горняка-2008». Рецензент чл.-корр. РАН *Л.А. Пучков.*