

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РАБОТ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ НА БАЗЕ НЕЧЕТКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

*Изложены методологические принципы прогнозирования развития горных работ на угольных шахтах на базе нечеткого моделирования, разработана нечеткая прогнозная модель развития горных работ в пределах выемочного участка.*

*Ключевые слова: принципы прогнозирования, нечеткое моделирование, лингвистическая переменная, нечеткие множества.*

Реализация идеи создания развивающегося проекта выемочного участка требует непрерывного прогнозирования развития техники и технологии добычи угля, учета изменения горно-геологических и горнотехнических условий добычи на период всего срока отработки запасов на данном месторождении.

Любой проект выемочного участка ориентирован в своей реализации на будущее. Поэтому решения проекта должны всегда отличаться достаточной устойчивостью к старению, соответствием обстоятельствам и требованиям будущего. В противном случае будет правилом появление на только что введенных в эксплуатацию выемочных участках, оснащенных высокопроизводительным очистным оборудованием, непрогрессивных технологических звеньев, непроизводительных простоев оборудования, «узких» мест, сдерживающих работу всех элементов технологической цепочки.

В соответствии с современными представлениями прогноз развития технологической системы выемочного участка рассматривают как специфически аргументированную информацию о будущем технологических и ремонтно-профилактических мероприятий, горно-геологических условий, технико-экономических показателей функционирования выемочных участков. Содержание и степень достоверности такой прогнозной информации определяются следующими моментами: накопленным опытом о

развитии технологии разработки полезных ископаемых, потребностями, знаниями и условиями, присущими современному этапу развития угледобычи, возможностями реализации прогнозируемых явлений или тенденций. Другими словами, прогноз в своих теоретических построениях опирается на конкретные тенденции и закономерности развития аналогичных объектов, реальные потребности экономики страны и учитывает объективно складывающиеся возможности научно-технического прогресса в угольной и других отраслях промышленности.

Логическую запись выработки прогнозных умозаключений можно представить следующим образом [1]:

$$(ТЗ \vee ИГ \vee ФП) \rightarrow ПР,$$

где ТЗ - совокупность знаний и представлений о тенденциях и закономерностях развития выемочных участков и элементов технологии добычи угля; ИГ - совокупность конкретных идей и научных гипотез относительно будущих возможностей развития выемочных участков, элементов технологии и их многообразных связей; ФП - совокупность представлений о факторах, определяющих потребность развития выемочных участков, элементах технологии и стимулирующих или препятствующих этому развитию условиях; ПР - прогнозируемые результаты, предположения, выводы, имплицитивно ( $\rightarrow$ ) обуславливаемые указанными реально существующими логическими предпосылками;  $\rightarrow$  - логический знак, обозначающий операцию импликации, следования. Результаты следуют, если справедливы слагающие элементы.

Основные задачи прогнозирования, связанные с обоснованием достоверности проектной информации, можно систематизировать следующим образом.

Практика проектирования и отработка запасов выемочных участков показывает, что неполнота, неточность и низкая достоверность исходной горно-геологической информации чаще всего являются причиной частых корректировок проектов, отказа от ранее принятых проектных решений. Задача прогнозирования качественных параметров технологической системы выемочных участков предусматривает выявление перспективных закономерностей и тенденций развития подготовки запасов, вентиляции и транспорта, систем разработки и т.д. Большинство указанных

проектных решений относятся к медленно изменяющимся, инерционным, они часто выступают на действующих выемочных участках как ограничения в развитии технологии очистных работ, улучшении технико-экономических показателей.

Проектируемый выемочный участок оказывается в системе хозяйственных и социальных связей с другими подразделениями угольного предприятия. Как будут влиять эти связи на функционирование выемочного участка, обеспечение его материалами, транспортом в будущем, может установить прогнозирование. Прогнозирование столь разнообразных сведений, необходимых при воплощении идеи непрерывного проектирования, требует использования специфических методов. Теория прогнозирования насчитывает в настоящее время более 100 различных методов и приемов [1].

Что касается основных методов технологического прогнозирования, то их удастся свести к следующим классам: методы расчетно-директивные, интуитивной и эмпирико-статистической экстраполяции, экспертных заключений (оценок), математического и технологического моделирования, практического эксперимента с обратной связью.

Первый класс методов (расчетно-директивный) находит широкое применение в определении перспективных планов развития отрасли, динамики показателей по отрасли, бассейнам, районам и предприятиям.

Второй класс методов на базе статистического анализа позволяет решать разнообразные задачи прогнозирования поведения как весьма больших и сложных систем и их характеристик, так и отдельных элементов систем, элементов технологии, показателей. Методы экстраполяции базируются на гипотезе, которая заключается в том, что будущее является непосредственным продолжением настоящего. Чаще всего методами экстраполяции пользуются при установлении тенденций изменения тех или иных количественных характеристик технологической системы шахты и отдельных подсистем, технико-экономических показателей (мощность шахты, нагрузка на очистной забой, производительность горных машин, подвигание очистных забоев, себестоимость производства горных работ и 1т добытого угля, производительность труда и т.д.).

Третий класс методов, включающий в себя методы экспертных оценок, используют в большей мере при определении тенденций развития техники, уровня технико-экономических показателей, направлений в развитии технологии производственных процессов и элементов технологических систем, технических средств и т.д. Силу прогноза им придает аргументированность суждений экспертов, являющихся ответом на общественные, технические, экономические и технологические потребности в подобном развитии. Теми или иными приемами методов экспертных оценок издавна пользуются при перспективном планировании и проектировании в форме коллективных обсуждений и заключений. Хорошо известен в практике прогнозирования метод Делфи. В значительной степени оценки экспертов основаны на результатах проводимых научных исследований, конструирований, экспериментов, то есть они отражают потенциальный научно-технический задел в развитии технологии добычи. С помощью методов экспертных оценок необходимые при проектировании сведения целесообразно прогнозировать на конец первого этапа, а некоторые сведения (потребности в угле, параметры систем энергоснабжения и вентиляции, общее положение горных работ и т.д.) — на период второго этапа, то есть более чем на 20 лет.

Пятый класс методов сводится к физическому эксперименту на реальном объекте и применяется, как правило, при создании образцов технических средств. Тем не менее не исключено проведение производственно-экономических экспериментов и на более сложных, масштабных объектах (скоростное проведение выработок, экономическая система материального стимулирования на шахтах и т.д.). Эти задачи в наибольшей степени законченное решение получают при использовании методов прогнозирования четвертого класса — методов технологического и математического моделирования объекта, в данном случае технологии выемочного участка. На основе изучения внутренней логики развития объектов, хода процессов исследователь конструирует соответствующую логико-математическую модель.

Данный метод сочетает в себе технологическое и математическое моделирование выемочного участка и является примером использования методов прогнозирования четвертого класса. Установление закономерностей изменения проектной информации во времени, прогнозирование исходных данных основаны на сбо-

ре и обработке огромного объема статистических сведений, характеризующих опыт действующих предприятий, состояние научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ в отрасли, социальные, экономические и производственные условия шахты, угольного района и бассейна. Это указывает на необходимость создания в проектных институтах автоматизированных информационных систем, работающих в единстве с автоматизированными системами управления шахтами и угледобывающими компаниями.

Теория нечетких множеств, основные идеи которой были предложены американским математиком Лотфи Заде (Lotfi Zadeh) более 35 лет назад, позволяет описывать качественные понятия и наши знания об окружающем мире, а также оперировать этими знаниями с целью получения новой информации. Основанные на этой теории методы построения информационных моделей существенно расширяют традиционные области применения компьютеров и образуют самостоятельное направление научно-прикладных исследований, которое получило специальное название - нечеткое моделирование.

Аппарат нечетких множеств и нечеткой логики уже многие годы с успехом применяется для решения задач, в которых исходные данные являются ненадежными и слабо формализованными. Преимущества такого подхода заключаются в следующем:

- описание условий и метода решения задачи на языке, близком к естественному;
- универсальность: согласно теореме FAT (Fuzzy Approximation Theorem), доказанной Б. Коско (B. Kosko) в 1993 г., любая математическая система может быть аппроксимирована системой, основанной на нечеткой логике;
- эффективность (связана с универсальностью), поясняемая рядом теорем, аналогичных теоремам о полноте для искусственных нейронных сетей, например, теоремой вида: для каждой вещественной непрерывной функции  $g$ , заданной на компакте  $U$ , и для произвольного  $\varepsilon > 0$  существует нечеткая экспертная система, формирующая выходную функцию  $f(x)$  такую, что

$$\sup_{x \in U} \|g(x) - f(x)\| \leq \varepsilon,$$

где  $\|\bullet\|$  — символ принятого расстояния между функциями.

Вместе с тем, для нечетких систем характерны и определенные недостатки:

- исходный набор постулируемых нечетких правил формулируется экспертом-человеком и может оказаться неполным или противоречивым;
- вид и параметры функций принадлежности, описывающих входные и выходные переменные системы, выбираются субъективно и могут оказаться не вполне отражающими реальную действительность.

Для устранения, по крайней мере, частично, указанных недостатков было предложено создавать нечеткие системы адаптивными, корректируя, по мере их функционирования, правила и параметры функций принадлежности.

Значительный вклад в это направление внес Л. Заде (L. Zadeh). Его работа «Fuzzy Sets», опубликованная в 1965 г. в журнале «Information and Control», явилась толчком к развитию новой математической теории. Заде расширил классическое понятие множества, допустив, что характеристическая функция (функция принадлежности элемента множеству) может принимать любые значения в интервале  $(0, 1)$ , а не только значения 0 либо 1. Такие множества были названы им нечеткими (fuzzy). Заде определил также ряд операций над нечеткими множествами и предложил обобщение известных методов логического вывода *modus ponens* и *modus tollens*. Введя затем понятие лингвистической переменной и допустив, что в качестве ее значений (термов) выступают нечеткие множества, Заде предложил аппарат для описания процессов интеллектуальной деятельности, включая нечеткость и неопределенность выражений. Это позволило создать фундамент теории нечетких множеств и нечеткой логики, а также предпосылки для внедрения методов нечеткого управления в инженерную практику.

Смещение центра исследований нечетких систем в сторону практических приложений привело к постановке целого ряда проблем, таких как новые архитектуры компьютеров для нечетких вычислений, элементная база нечетких компьютеров и контроллеров, инструментальные средства разработки, инженерные методы расчета и разработки нечетких систем управления и многое другое. Математическая теория нечетких множеств позволяет описывать нечеткие понятия и знания, оперировать этими зна-

ниями и делать нечеткие выводы. Нечеткое управление оказывается особенно полезным, когда исследуемые процессы являются слишком сложными для анализа с помощью общепринятых методов, или когда доступные источники информации интерпретируются качественно, неточно или неопределенно. Нечеткая логика, предоставляющая эффективные средства отображения неопределенностей и неточностей реального мира, и на которой основано нечеткое управление, ближе к человеческому мышлению и естественным языкам, чем традиционные логические системы.

Нечеткая логика основана на использовании таких оборотов естественного языка как «далеко», «близко», «холодно», «горячо». Диапазон ее применения очень широк — от бытовых приборов до управления сложными промышленными процессами. Многие современные задачи управления просто не могут быть решены классическими методами из-за очень большой сложности математических моделей, их описывающих. Вместе с тем, чтобы использовать теорию нечеткости на цифровых компьютерах, необходимы математические преобразования, позволяющие перейти от лингвистических переменных к их числовым аналогам в ЭВМ.

На рис.1 показаны области наиболее эффективного применения современных технологий управления. Как видно, классические методы управления хорошо работают при полностью детерминированном объекте управления и детерминированной среде, а для систем с неполной информацией и высокой сложностью объекта управления оптимальными являются нечеткие методы управления [0, 0].

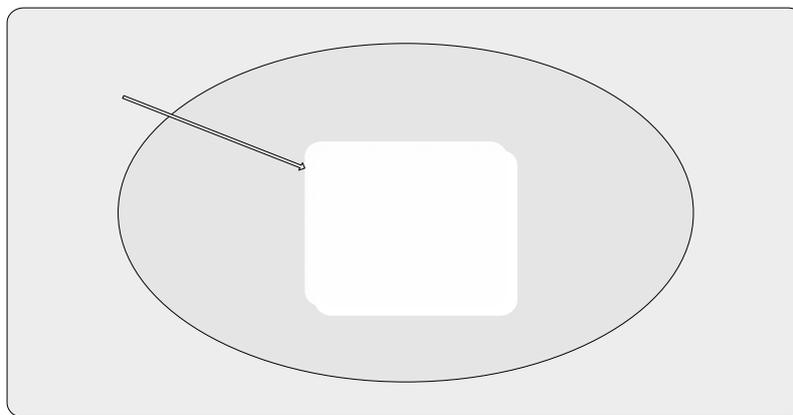


*Рис.1. Области наиболее эффективного применения современных технологий моделирования и управления*

Классическая логика оперирует только двумя понятиями: ИСТИНА и ЛОЖЬ, и исключая любые промежуточные значения. Аналогично этому булева логика не признает ничего, кроме единиц и нулей. Все это хорошо для вычислительных машин, но трудно представить весь окружающий вас мир только в черном и белом цветах, вдобавок исключив из языка любые ответы на вопросы, кроме ДА и НЕТ. Решить эту проблему и призвана нечеткая логика. С термином «лингвистическая переменная» можно связать любую физическую величину, для которой нужно иметь больше значений, чем только ДА и НЕТ. В этом случае вы определяете необходимое число термов и каждому из них ставите в соответствие некоторое значение описываемой физической величины. Для этого значения степень принадлежности физической величины к терму будет равна единице, а для всех остальных значений — в зависимости от выбранной функции принадлежности. Получившие наибольшее развитие из всех разработок искусственного интеллекта экспертные системы завоевали устойчивое признание в качестве систем поддержки принятия решений. Подобные системы способны аккумулировать знания, полученные человеком в различных областях деятельности. Посредством экспертных систем удастся решить многие современные задачи, в том числе и задачи управления. Однако большинство систем все еще сильно зависит от классической логики.

Одним из основных методов представления знаний в экспертных системах являются продукционные правила, позволяющие приблизиться к стилю мышления человека. Любое правило продукций состоит из посылок и заключения. Возможно наличие нескольких посылок в правиле, в этом случае они объединяются посредством логических связок И, ИЛИ. Обычно продукционное правило записывается в виде: «ЕСЛИ (посылка) (связка) (посылка)... (посылка) ТО (заключение)».

Нечеткие системы тоже основаны на правилах продукционного типа, однако в качестве посылки и заключения в правиле используются лингвистические переменные, что позволяет избежать ограничений, присущих классическим продукционным правилам. Таким образом, нечеткая модель системы-оригинала, или нечеткая система, в первую очередь характеризуется неопределенностью типа неясности (нечеткости) границы системы, а также, возможно, отдельных ее состояний, входных и выходных воздействий. В этом случае исходная структуризация нечеткой системы может быть изображена графически в виде фигуры с расплывчатыми границами (рис. 2).



*Рис.2. Графическая иллюстрация нечеткой системы как системы с нечеткой границей*

Нечеткая прогнозная модель развития горных работ в пределах выемочного участка обеспечивает: возможность постепенной детализации требований, исходных данных, а также уточнения выдаваемых результатов; возможность расширения функций без изменения основной структуры модели, например, учета новых массивов исходных данных (в частности, характеристик вентиляционных и транспортных систем), получения дополнительных выходных данных (например, комплекса технологических и ремонтно-профилактических мероприятий для локализации негативных проявлений геологических осложнений); учет опыта, накопленного в процессе функционирования угледобывающего предприятия; возможность работы с нечеткой и неполной информацией; технологическую объяснимость предлагаемых решений; использование нормативной документации при принятии решений; учет ограничений, накладываемых на технологию добычи (правила безопасности, требования проектной документации и др.).

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Добров Г.М.* Прогнозирование науки и техники. — М.: Наука, 1969.

2. *Рассел С., Норвиг П.* Искусственный интеллект: современный подход, 2-е издание. М.: Издательский дом «Вильямс», 2006.
3. *Нейлор К.* Как построить свою экспертную систему. — М.: Энергоатомиздат, 1991.
4. *Леоненков А.В.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. - СПб.: БХВ Петербург, 2005.
5. *Хабаров С.П.* Экспертные системы (конспект лекций). - <http://firm.trade.spb.ru/serp/index.htm>.
6. *Гриняев С.* Нечеткая логика в системах управления// «Компьютерра». — 2001. - № 38. - <http://offline.computerra.ru/2001/415/13052/>.
7. *Гвишиани Д.М., Лисичкин В.А.* Прогностика. - М.: Знание, 1968.
8. *Куприянов В.В., Фомичева О.Е.* Интеллектуализация технологий автоматизированных систем. - М.: МГГУ, 1994.
9. *Стадник Д.А.* Прогнозирование и управление электропотреблением угольных шахт. — Сб. науч. трудов студентов магистратуры МГГУ Выпуск 4. — М.: МГГУ, 2004.
10. *Круглов В.В., Борисов В.В.* Искусственные нейронные сети. — М.: Горячая линия — Телеком, 2001.
11. *Кузнецов Ю.Н., Некрасов В.В., Постников В.И.* Технологическое картографирование отработки запасов выемочных участков. — М.: МГГУ, 1993.
12. *Стадник Д.А.* Разработка методики технологического картографирования высокопроизводительной отработки запасов выемочного участка угольной шахты. — Дисс. на соискание уч. ст. канд. тех. наук. — М.: МГГУ, 2008.