

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).

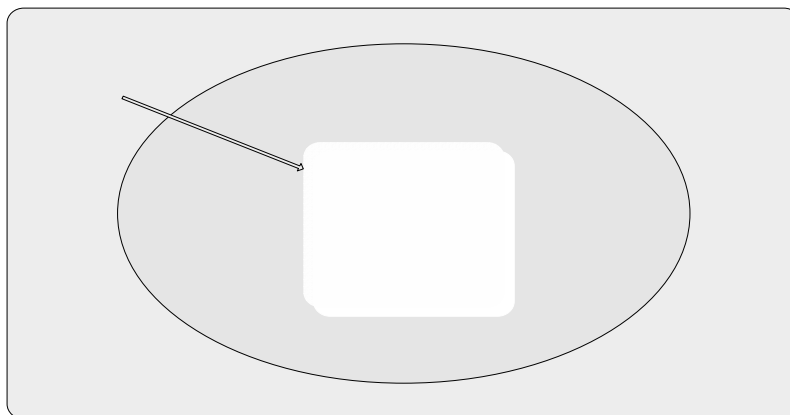


Рис.2. Графическая иллюстрация нечеткой системы как системы с нечеткой границей

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.