

*к.т.н., доц. Окалелов В.Н.,
д.т.н., проф. Фрумкин Р.А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

МЕТОДИКА УЧЕТА ОШИБОК ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ПРИ ИНФОРМАЦИОННОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

*Викладено методика врахування помилок вихідних даних при про-
гнозуванні різних показників функціонування вугільних шахт.*

Информационное обеспечение проектирования угольных шахт относится к числу наиболее ответственных этапов данного процесса. Это объясняется весьма существенным влиянием достоверности исходной информации на качество принимаемых проектных решений. В связи с этим проблеме повышения достоверности прогнозных данных об условиях залегания угольных пластов, показателей их разработки всегда уделялось большое внимание.

Не останавливаясь на детальном анализе всех известных методов обеспечения достоверности исходной информации отметим, что их можно разделить на несколько групп. Первая группа связана с повышением точности определения значений геологических факторов в местах пересечения пород и угольных пластов разведочными скважинами. При этом основное внимание уделяется повышению выхода керна, использованию современных геофизических методов, совершенствованию лабораторных методов определения свойств пород и т.п.

Вторая группа методов связана с совершенствованием камеральной обработки геологоразведочных данных. При этом особое внимание уделяется их интерполяции в межскважинном пространстве. Наиболее часто с этой целью используются линейные модели изменения значений геологических факторов. Имеются предложения и по применению различного типа нелинейных моделей.

Третья группа методов направлена на повышение надежности и точности математических моделей, используемых для прогноза инженерно-геологических условий залегания угольных пластов и технико-экономических показателей работы лав и шахт. В настоящее время предложено достаточно большое число таких моделей начиная от детерминированных до вероятностно-статистических.

Четвертая группа методов рассматривает способы учета ошибок исходных данных при прогнозировании и принятии проектных решений. В работе [1] отмечается, что повышение надежности и точности математических моделей весьма проблематично. Поэтому следует особое внимание уделять учету возможных ошибок при выполнении оптимизационных расчетов.

Существует несколько методических подходов к учету ошибок исходных данных. В работе [1] использован метод, основанный на арифметике интервалов [2], которая предусматривает на входе модели интервалы переменных и на выходе дает соответственно интервалы функции. Так, например, при расчете годовой производственной мощности шахты задается ее математическое ожидание, стандартное отклонение мощности, математическое ожидание погрешности определения средней мощности шахты и стандартное отклонение ее погрешности [1].

При таком методе учета ошибок приходится сталкиваться с чрезмерно большими интервалами изменения выходных показателей. Поэтому в работе [2] отмечается, что более предпочтительным является метод учета ошибок с помощью арифметики точек, которая предусматривает слежение за ошибками точек и их влиянием на конечный результат. В этом случае весьма важным является вопрос о целесообразности учета ошибок исходных данных в зависимости от чувствительности к ним математических моделей, используемых в прогнозировании и проектировании. Наиболее полно этот вопрос решен для моделей, в которых учитываются только количественные факторы. Для них степень влияния ошибок оценивается с помощью критериев, которые представляют собой произведение коэффициентов эластичности на величину ошибки соответствующего фактора [1-4]. Такой подход к учету ошибок позволяет достаточно надежно оценивать их влияние на конечный результат в случаях, когда математическая модель является линейной.

Для нелинейных моделей задача усложняется, так как на разных участках изменения значений, учтенных в модели факторов сила их влияния различна [3]. Поэтому требуется установление характера изменения силы влияния, учтенных в модели факторов на всем диапазоне вариации их значений.

Следует также отметить, что длительный период времени оставался не решенным вопрос о методах учета ошибок при использовании распознающих систем, разработанных на основе теоремы Байеса и неоднородном последовательном статистическом анализе [5]. Данные системы учитывают влияющие на распознаваемый процесс факторы в табличной форме, что не позволяет применять для оценки степени зависимости результатов прогнозов от ошибок исходных данных коэффициенты эластичности.

После установления целесообразности учета ошибок исходных данных возникает задача обоснования методики прогнозирования и проектирования с учетом этих ошибок. Наиболее простым является способ суммирования рассчитанных по детерминированным моделям значений прогнозируемых показателей с величиной их ошибки [1, 5]. Если необходимо определять погрешность искомого показателя, которая зависит от погрешности значений влияющих на него факторов, то в этом случае мы сталкиваемся с задачей определения погрешности результата косвенных измерений [6]. В этом случае можно определить результирующую ошибку по формулам, приведенным в работе [6]. Вид этих формул зависит от вида функции, по которой рассчитывается результирующий показатель. С их помощью можно дать лишь приближенную оценку погрешностей для функций, учитывающих только количественные факторы.

Возможен и иной способ учета ошибок исходных данных, основанный на имитационном моделировании. Однако, этот способ, как справедливо указано в работе [1], из-за ряда существенных недостатков не нашел практического применения.

Таким образом, можно констатировать необходимость разработки новых методов учета ошибок исходных данных при прогнозировании и проектировании.

Предлагаемая методика учета ошибок предусматривает последовательное выполнение нескольких этапов.

На первом этапе устанавливается статистическая значимость ошибок, выявленных в результате сопоставления геологоразведочных данных и данных, полученных в результате разработки угольных пластов. Методика решения этой задачи изложена в работах [7, 8].

Второй этап предусматривает корректировку значений тех количественных факторов, для которых установлены статистически значимые систематические и случайные ошибки. При этом знак случайной ошибки выбирается таким, при котором скорректированное значение фактора ведет к получению худшего результата прогноза по сравнению с результатом, который мог бы быть получен без учета ошибки, т.е. реализуется максиминная или минимаксная процедура принятия решений. Например, если уменьшение мощности пласта ведет к снижению среднесуточной нагрузки на забой, то случайная ошибка значений этого фактора берется со знаком "-", что отражает менее благоприятную ситуацию с точки зрения уровня добычи угля из лавы.

После корректировки исходных данных устанавливается целесообразность их учета при прогнозе различных показателей в зависимости от применяемых методов прогнозирования.

Если прогноз осуществляется по количественным математическим моделям, то целесообразность учета ошибок следует определять по методике [3].

Для методов прогноза по теореме Байеса производится безусловный учет скорректированных значений факторов.

Для методов прогноза, основанных на неоднородном последовательном статистическом анализе [5] целесообразность учета скорректированных значений определяется следующим образом.

Вначале по прогностическим таблицам определяются признаки (диапазоны) XP_{ji} , которым соответствуют исходное X_{ji} и скорректированное X_{ji}^k значения учитываемого фактора (j – порядковый номер фактора, i – порядковый номер признака). Если эти признаки одинаковы, то необходимости в учете скорректированных значений факторов нет, так как они не влияют на конечный результат.

Если X_{ji} и X_{ji}^k отвечают разные признаки XP_{ji} , то для них выбираются из прогностических таблиц соответствующие значения прогностических коэффициентов PK_i , после чего определяются степень различия между ними (ε_{PK_i})

$$\varepsilon_{PK_i} = \left| \frac{PK_i(x_{ji}) - PK_i^k(x_{ji})}{PK_i(x_{ji})} \right| \cdot 100\%. \quad (1)$$

В случае, если ε_{PK_i} меньше 20%, то учитывать скорректированное значение факторов нецелесообразно, так как результаты моделирования прогнозных значений показателей с учетом ошибок несущественно отличаются от базовых (без учета ошибок). Если ε_{PK_i} больше 20%, то проверяется монотонность изменения PK_i (однонаправленное убывание или возрастание во всем диапазоне изменения значений учитываемого фактора).

В тех случаях, когда это условие не выполняется скорректированные значения факторов не учитываются, так как в случае неупорядоченного изменения знаков коэффициентов PK_i нарушается принцип минимакса или максимина и, как следствие, теряет смысл выбранный ранее знак случайной ошибки в определении скорректированных значений фактора.

Если доказана монотонность и однонаправленность изменения PK_{ij} то определяется вероятность ошибки в расчетах и прогнозных обоснованиях при использовании нескорректированных значений факторов. Для этого рассчитывается критерий t_{ji}

$$t_{ji} = \frac{|XP_{ji}^K - XP_{ji}|}{S_{ji}}, \quad (2)$$

где S_{ji} - величина абсолютной погрешности определения i -го значения j - го фактора [7,8].

Затем по величине t_{ji} определяют величину интегральной функции плотности распределения $\Phi(t_{ji})$

$$\Phi(t_{ji}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{t_{ji}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (3)$$

Величина этой функции может определяться по табличным данным, приведенным в многочисленных изданиях по теории вероятностей и математической статистики.

По величине $\Phi(t_{ji})$ определяется вероятность того, что фактическое значение учитываемого фактора не превысит величину XP_{ji}^K

$$P(t_{ji}) = \frac{1 + \Phi(t_{ji})}{2}. \quad (4)$$

После этого определяется вероятность ошибки прогнозирования, если используется нескорректированное значение фактора при заданной значимости систематических ошибок и надежности прогностических таблиц [5].

$$PO_{ji} = 1 - P(t_{ji})PS \cdot PM, \quad (5)$$

где PS – значимость систематической ошибки (0,95, если она доказана);

PM – надежность прогностических таблиц.

Если величина PO_{ji} окажется меньше или равна 0,2 (что вполне приемлемо для практики проектирования), то скорректированные значения не учитываются и исходная информация для дальнейших расчетов формируется на основе геологоразведочных данных. В противном случае в расчетах и прогнозах учитывают скорректированные значения факторов.

Из изложенного следует, что предложенная методика основана на слежении за влияниями ошибок каждого отдельного значения факторов на конечный результат расчетов или прогнозов. Она не требует сложно-

го имитационного моделирования и позволяет еще до вычисления результирующих показателей устанавливать целесообразность учета ошибок исходных данных.

Дан краткий анализ существующих методов учета ошибок при проектировании и прогнозировании. Разработана методика учета ошибок применительно к методам прогноза, основанным на теории Байеса и неоднородном последовательном статистическом анализе.

The short analysis of existent errors account methods during designing and prognostication is given. The errors account method applicable to the prognosis methods is developed based on Bays' theory and heterogeneous successive statistical analysis.

Библиографический список

1. Способы вскрытия, подготовки и системы разработки шахтных полей / Под ред. Б.Ф.Братченко. – М.: Недра, 1985. – 494 с.

2. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. – М.: Наука, 1981. – 719 с.

3. Окалелов В.Н. Методика учета изменчивости геологических и технологических факторов при расчетах нагрузки на очистной забой // Сб. научных трудов ТПИ / Подземная разработка тонких и средней мощности угольных пластов. – Тула, ТПИ, 1991. – С. 66-72.

4. Saluqa P. Wycena qornicznych projektow inwestycyjnych w aspekcie doboru stopy dyskontowej. – Krakow: IGSMIE PAN, 2006. – 131 p.

5. Фрумкин Р.А. Методика прогнозирования процессов со многими параметрами и ее применение в горном деле // Уголь-1973. - № 1. – С. 16-22.

6. Кассандрова О.Н., Лебедев В.В. Обработка результатов наблюдений. – М.: Наука, 1970. – 104 с.

7. Фрумкин Р.А., Окалелов В.Н. Оценка достоверности прогнозов условий разработки пластов // Уголь Украины. – 1983. - № 9. – С. 43-44.

8. Фрумкин Р.А., Окалелов В.Н. Достоверность горно-геологических прогнозов и методы ее количественной оценки // Известия вузов. Горный журнал. – 1983. - № 4. – С. 33-37.

Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Бабиюком Г.В.