

УДК 622.272

В.В. Агафонов, П.В. Шавров

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ МОЩНОСТИ ШАХТЫ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ РИСКЕ

Рассмотрена задача обоснования и выбора оптимальной производственной мощности, когда нет и не может быть достаточно полной информации о запасах.

Ключевые слова: проектирование шахт, критерий оптимальности, матрица, горное предприятие, оптимальная производственная мощность предприятия.

Семинар № 13

V.V. Agafonov, P.V. Shavrov
**THE OPTIMIZATION OF THE
INDUSTRIAL CAPACITY OF THE
UNDERGROUND PIT IN THE
UNCERTAIN AND RISKY CONDITIONS**

The task of choosing and justification of an optimal industrial capacity in the conditions of the lack of information about the volume of deposits is reviewed.

Key words: underground pit designing, optimality criterion, mining enterprise, optimal industrial capacity of an enterprise

Одной из важнейших проблем проектирования шахт является необходимость принятия важных решений стратегического характера в условиях неопределенности, когда информации для принятия обоснованного решения явно не хватает. При этом прирост степени определенности информации неадекватен результатам дополнительных усилий (затратам) по пополнению информации в связи с объективным характером неопределенности и когда необходимость принятия решения в таких условиях сопряжена с риском возможных значительных экономических потерь. Подобного типа проблемы возникают при принятии стратегических решений о необходимости освоения некоторых типов угольных месторождений, характеризующихся весьма изменчивыми параметрами зале-

гания. Одной из сложнейших задач аналитического характера, решаемых при этом, является определение оптимальной производственной мощности проектируемого предприятия.

Задача обоснования и выбора оптимальной производственной мощности, когда нет и не может быть достаточно полной информации о запасах, может быть отнесена к категории задач одного из разделов теории принятия сложных решений.

Сформулировать целевую функцию критерия оптимальности в виде конечных математических выражений достаточно сложно. Одна из наиболее удобных форм представления информации - таблица (матрица). Если матрица при этом построена, то процедура выбора решений преобразуется в одноходовую - каждому состоянию природы (количеству запасов) соответствует одно оптимальное по выбранному критерию решение. Меняется критерий - меняется и оптимальное решение.

Поскольку поведение природы для проектировщика заранее неизвестно (случайно) и представлено достаточно широким диапазоном вариантов возможных значений запасов (стратегий природы), то они относятся к категории наиболее сложных. Задача проектировщика: - найти свою оптимальную стратегию - определить производствен-

ную мощность, обеспечивающую максимальный выигрыш (минимальный проигрыш) при возможном диапазоне значений запасов месторождения.

Рассмотрим один из возможных вариантов построения исходной матрицы в общем виде. В результате оконтуривания месторождения и подсчета запасов определено их состояние с учетом допустимой погрешности:

$$A \pm \Delta A = B1; B \pm \Delta B = B2; \\ C1 \pm \Delta C1 = B3; C2 \pm \Delta C2 = B4.$$

При определении производственной мощности шахты Агод в расчет принимаются суммарные запасы:

$$K1 \cdot B1, K1 = 1; K2 \cdot B2, K2 \leq 1; \\ K3 \cdot B3, K3 < 1; K4 \cdot B4, K4 \geq 0.$$

$$A = f\left(\sum_{\lambda} B_{\lambda} \cdot K_{\lambda} \pm \sum_{\lambda} \Delta B_{\lambda} \cdot K_{\lambda}\right)$$

где K_{λ} - категория степени разведанности запасов.

Реальные запасы угольного месторождения Б при рассматриваемом состоянии его изученности находятся в достаточно широком диапазоне:

$$\sum_{\lambda} B_{\lambda} \cdot K_{\lambda} - \sum_{\lambda} \Delta B_{\lambda} \cdot K_{\lambda} \leq B \leq \sum_{\lambda} B_{\lambda} \cdot K_{\lambda} + \\ + \sum_{\lambda} \Delta B_{\lambda} \cdot K_{\lambda}$$

Если вероятности определить не удастся или к ним нет достаточного доверия, могут быть использованы некоторые критерии выбора оптимальных решений

1. - Максиминный критерий Вальда (максимизируется минимальный выигрыш):

$$W_1 = \max_i \min_j a_{ij}$$

Смысл критерия отражает пессимистический подход проектировщика к определению производственной мощности - ориентироваться на возможно худшие условия состояния природы (запасов) и при них искать максимальный выигрыш.

2. - Минимаксный критерий Сэвиджа - стратегия крайне пессимистическая, рассчитываемая на самую неблагоприятную ситуацию. Здесь выбирает-

ся стратегия, обеспечивающая минимальный риск:

$$W_2 = \max_i \min_j r_{ij}$$

По критерию Сэвиджа худшим вариантом является не тот, который обеспечивает минимальный выигрыш, а тот, при котором потери выигрыша максимальны по сравнению с имеющимися возможностями.

3. Критерий пессимизма-оптимизма Гурвица

$$W_3 = \max \{k \min a_{ij} + (1-k) \max a_{ij}\}, 0 \leq k \leq 1$$

- нечто среднее между пессимизмом и оптимизмом: если $k = 1$, то это пессимистический критерий Вальда; если $k = 0$, то крайний оптимизм, соответствующий выбору стратегии максимального выигрыша в ожидании наилучших условий природы.

Учитывая высокую капиталоемкость угольных предприятий и высокую цену принятия неправильных решений следует ориентироваться на применение именно минимаксного критерия Сэвиджа.

Решая такой важный вопрос, как определение производственной мощности горного предприятия, связанный со значительными экономическими последствиями, целесообразно задачу оценить с разных позиций с использованием различных критериев принятия решений. Если решения по разным подходам окажутся одинаковыми или достаточно близкими, то это дает основание считать одно из них наиболее предпочтительным; если решения сильно отличаются друг от друга, следует изыскивать дополнительные процедуры принятия решений.

Обобщающий вывод, следующий из изложенного материала, очевиден: общепринятая методика расчета оптимальной производственной мощности горнодобывающего предприятия, базирующаяся на детерминированных оценках запасов, утвержденных ГКЗ, для многих сложных месторождений, характеризующихся значительной объективной неопределенностью состояния

запасов, вытекающей из самой природы соответствующих типов месторождений, сопряжена с объективным риском ошибочного решения, следствием которого могут быть значительные экономические потери. Оптимальная производственная мощность предприятия как стратегическая категория оказывается расположенной в пределах достаточно широкого диапазона доверительных интервалов, что необходимо учитывать при проектировании и расчете инвестиций в капитальные вложения для освоения месторождения. Во избежание значительных рисков потерь наиболее целесообразной может быть осторожная стратегия поэтапного освоения месторождения с инвестициями каждого последующего этапа после более глубокого изучения природы месторождения и его запасов на предыдущем этапе.

Не менее важным является решение задачи определения величины мощности шахты, когда необходимо учитывать многоплановый смысл в организационном и экономическом отношениях, что особенно актуально в период реструктуризации шахтного фонда, которая сопровождается необходимостью закрытия убыточных, неперспективных шахт. Потери добычи угля при этом должны в обязательном порядке восполняться другими, стабильно работающими, - и это возможно только в случае, если перспективные шахты имеют резервы повышения производительности.

В связи с этим сущность задачи в организационном плане сводится к тому, что выявленные на определенных шахтах резервы повышения производственных мощностей вводятся в действие путем осуществления организационных мер по повышению пропускных способностей схем транспорта и вентиляции, по техническому переоснащению и модернизации очистных и проходческих работ и т.д.

Вместе с тем чрезвычайно актуальна и важна экономическая сущность решаемой задачи, которая проявляется в двух аспектах:

- устраняются дотации на поддержание работы неперспективных шахт вследствие их закрытия,

- происходит рост добычи угля на прибыльных шахтах, причем величина дохода пропорциональна приросту добычи.

В пределах реальных возможностей технологических звеньев шахт производственная мощность может принимать достаточно много значений с изменением горно-геологических характеристик в связи с переходом горных работ на новые участки шахтного поля, а также в связи с внедрением новых средств очистных работ и пр. Вписаться в подобные заранее неизвестные изменения параметров технологии (аргументов целевой функции) позволяет процедура расчета мощности шахт в условиях неопределенности информации.

Эту задачу оптимизации и выбора проектных решений, обеспечивающих наиболее высокий и надежный уровень мощности шахты, можно рассматривать как стратегическую игру, в которой участвуют природные условия (являющиеся объективно неопределенными, так как проектировщик точно не знает, какими они будут в действительности в том или ином периоде эксплуатации шахты).

При решении этой задачи также можно воспользоваться принципом "минимальных максимумов" отрицательных последствий ошибочных (из-за незнания горно-геологических и технологических условий будущей работы шахты) решений, принимаемых параметров. Процедура применения данного принципа выбора оптимальных решений (с точки зрения критерия - мощности шахты) основана на построении и анализе матриц альтернативных потерь Сэвиджа. Всю информацию, необходимую для расчета мощности, группируют в двух матрицах.

В матрице горно-геологических данных группируют исходные данные, в основном горно-геологические характеристики, значения которых принимаются в интервале от 0,8 до 1,2 некоторого наиболее вероятностного значения, т.е.

$$(Y_{ij}) = 0,8y_0; y_0; 1,2y_0$$

Это связано со следующими обстоятельствами:

- горно-геологические характеристики и организационно-технические параметры шахты изменяются со временем;

- диапазон изменения конкретной характеристики или параметра устанавливается исходя из статистических данных шахт, а шаг изменения принимается большим со снижением силы влияния на целевую функцию;

- изменчивостью некоторых характеристик и параметров можно пренебречь из-за незначительного диапазона изменения их величины и, соответственно, слишком малого влияния таких изменений на абсолютную величину целевой функции, т.е. мощности шахты.

В этой матрице априори не варьируются параметры, которые определены однозначно (количество пластов в шахтном поле, количество пластов в одновременной работе и т.д.).

В матрице горнотехнических параметров группируют значения параметров, по которым принимают варьируемые решения, управляемые параметры, входящие в расчетную формулу мощности шахты. Отдельные управляемые параметры (средняя и суммарная мощность угольных пластов, нагрузка на очистной забой и др.) формируют в зависимости от исходных данных.

Матрица альтернативных потерь $S_{э}$ -виджа содержит основную конечную информацию для принятия решения по выбору значения мощности шахты. Использование массива информации (Y_j) в j -м варианте и массива информации (X_i) в i -м варианте позволяет вычислить мощность шахты A_{ij} в ij -м варианте. В

результате получаем число значений мощности шахты, равное произведению n вариантов условий залегания пластов и m вариантов принимаемых решений для параметров, влияющих на мощность шахты.

Для каждого варианта условий (Y_j) устанавливают экстремальное (для нашей задачи - максимальное) значение функции, т.е. мощности шахты:

$$A_{ш.г.} \max_j = \max A(X_i; Y_j)$$

Процедура формирования расчетных вариантов предполагает формирование двух направлений от базового (номинальные значения):

- первое направление формируется от исходного увеличением значений одних параметров и уменьшением других на один шаг. Изменения при этом (увеличение) значений одних характеристик (параметров), так и уменьшение других должно вести к возрастанию целевой функции мощности шахты ($A_{ш} \rightarrow \max$), $P_i = P_0 \pm i \cdot \Delta \cdot P_0$, $P_1 = P_0 (1 \pm 1 \cdot \Delta)$;

- второе направление формируется в обратной направленности, ($A_{ш} \rightarrow \min$), $P_i = P_0 \pm i \cdot \Delta \cdot P_0$, $P_1 = P_0 (1 \pm 1 \cdot \Delta)$; что приводит к уменьшению целевой функции мощности шахты ($A_{ш} \rightarrow \min$).

Данная процедура необходима для планомерного исследования оптимизационной модели шахты.

Диапазон получаемых в результате расчета значений целевой функции мощности шахты оказывается представленным областью от минимально возможного в данных условиях значения $A_{ш} \rightarrow \min$ до максимального $A_{ш} \rightarrow \max$ (от менее вероятного до наиболее вероятного), что позволяет исследовать влияние на целевую функцию любой горно-геологической характеристики и горнотехнического параметра в любом диапазоне изменения.

По отношению к этим максимальным значениям вычисляют отклонения мощности при любом сочетании условий разработки (Y_j) и технологических решений (X_i) :

$$A_{ш.з.ij} = A_{ш.з.i \max j}(X_i; Y_j) - A_{ш.з.ij}(X_i; Y_j)$$

Эти отклонения являются, по существу, потерей добычи возможной неопределенности условий разработки и зависимых от них технологических решений. Величины отклонений заносят в таблицу альтернативных потерь, которая служит основой для принятия решений.

Оптимальный вариант технологических решений X_i^{opt} соответствует минимуму из максимальных потерь добычи. Соответственно мощность шахты в диапазоне колебаний при оптимальных технологических решениях является также оптимальной. Практика проектирования шахт с оптимизацией параметров свидетельствует, что ошибочные представления о природных условиях более вероятны при малых отклонениях от фактических значений, нежели при больших. Следовательно, вероятность принятия решений, вызывающих более значительные потери, меньше, чем решений, вызывающих меньшие потери. Поэтому в предложенном методе выбора оптимальных решений (параметров) в условиях неопределенности информации в ряде случаев целесообразно изменить целевую функцию выбора. Следует добиваться не "минимума максимальных потерь", а "минимума средних потерь":

$$\min(\text{sred}(A_{ш.з. \max j}(X_i; Y_j) - A_{ш.з.ij}(X_i; Y_j)) = B \\ = A_{ш.з.ij}(X_i^{opt}; Y_j)$$

результате различной вероятности всех собранных в матрице альтернативных потерь Сэвиджа значений мощности шахты, процедура выбора оптимального и в то же время наиболее вероятного значения становится несколько неоднозначной, для чего в процедуру

необходимо ввести коэффициент корректировки, который будет учитывать вероятность различных расчетных вариантов и будет однозначно формировать оптимальную величину проектной мощности шахты.

При этом наиболее вероятным и оптимальным вариантом будет считаться тот, для которого произведение величины мощности шахты на коэффициент корректировки будет максимальным.

Коэффициент корректировки в смысловой интерпретации отражает в себе следующие ключевые параметры:

- f_0 - коэффициент начальной вероятности (исходный вариант) - отражает достоверность исходной информации,
- Δ_j - величина шага изменении j -го параметра, - отражает степень неопределенности (неоднозначности) исходной информации,
- $h_{изм}$ - количество изменяющихся параметров в i -ом расчетном варианте.

Визуально проявление коэффициента корректировки хорошо заметно при построении графической модели. Поверхность становится более сглаженной, что однозначно трактуется как уменьшение риска при принятии неправильного решения.

Коэффициент корректировки определяется при помощи регрессионного анализа статистических отчетных данных угольных шахт с использованием динамических моделей регрессии.

Параметры уравнения (эмпирической формулы) определяются методом наименьших квадратов, которые показывают, как изменяются коэффициенты регрессии во времени и как это изменение следует учитывать при расчете прогноза. ■■■

Коротко об авторах

Агафонов В.В. – кандидат технических наук,
Шавров П.В. – аспирант,

Московский государственный горный университет. ud@msmu.ru

