

УДК 622: 519

## МЕТОД ИГР ПРИ ОЦЕНКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ШЛАМОХРАНИЛИЩ

Богатов Б.А.

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Многие задачи горного производства на уровне планирования и проектирования имеют существенный фактор неопределенности. Например, трудно прогнозировать последствия разработки месторождения полезного ископаемого как в целом на состояние биосферы, так и в частности на безопасное ведение работ, последствия аварий и катастроф. Лучшим методом анализа задач горного производства с выраженной неопределенностью является метод игр и статистических решений. Цель теории игр — выработка рекомендаций по рациональному образу действий противоборствующих сторон в конфликтной ситуации. В игре могут сталкиваться интересы двух или более «сторон». Примером может служить задача выбора лучшей технологии при производстве различной продукции, сравнения двух или более различных технологий, машин для добычи одного и того же полезного ископаемого. Большинство практически важных игр  $m \times n$  размерности может быть искусственно сведено к парным играм  $2 \times 2$ . В этом случае анализируются воздействия двух различных действий на два различных события (результата). Особенно эффективным метод игр оказывается, например, при оценке безопасности различных вариантов сооружения шламоохранилищ. Эта задача многокритериальная, так как несколько показателей  $C_i$  системы могут быть выбраны в качестве самостоятельного критерия безопасности, и решение принимается в условиях неопределенности (неизвестна оценка последствий аварий и т.д.). Для ее решения можно использовать метод игр и статистических решений.

В условиях неопределенности используются критерии Лапласа, Гурвица, Сэвиджа, минимакса. Основное различие между указанными критериями определяется стратегией лица, принимающего решение в условиях большой неопределенности. Например, критерий Лапласа, приписывающий всем возможным состояниям равные вероятности, более оптимистичен, чем принцип минимакса, рассчитывающий на лучший вариант среди худших исходов. Критерий Гурвица можно использовать при различных подходах — от наиболее оптимистичного до наиболее пессимистического. Перечисленные критерии, несмотря на их количественную природу, отражают субъективную оценку ситуации, в которой приходится принимать решение. К сожалению,

не существует общих правил оценки применимости того или иного критерия, так как поведение (часто меняющееся) лица, принимающего решения, обусловленное неопределенностью ситуации, по всей видимости, является наиболее важным фактором при выборе подходящего критерия.

Все критерии, перечисленные выше, базируются на том, что лицу (группе лиц), принимающему решение, не противостоит разумный противник. Когда в роли противника выступает «природа», нет оснований предполагать, что она стремится причинить вред лицу, принимающему решение.

Данные, необходимые для принятия решений в условиях неопределенности, обычно задают в форме матрицы, строки которой соответствуют возможным действиям, а столбцы — возможным состояниям (отклику) системы. Каждому действию  $A_i$  и каждому возможному состоянию  $B_j$  соответствует результат (исход), определяющий выигрыш  $a_{ij}$  (или потери  $r_{ij}$ ) при выборе данного действия и реализации соответствующего состояния.

Рассмотрим несколько вариантов принятия решений в условиях неопределенности. В первом случае сторона  $A$ , принимающая решение, имеет две стратегии:

$A_1$  — заниженная оценка безопасности системы (это реализация принципа осторожности, пессимизма). Обычно это лучший образ действия (принцип максимина, критерий Ваальда, Сэвиджа);

$A_2$  — завышенная оценка безопасности системы (это оптимизм при анализе факторов, влияющих на безопасность).

Сторона  $B$  характеризуется двумя состояниями:  $B_1$  — безаварийное и  $B_2$  — аварийное. Затраты на обеспечение и поддержание безаварийного состояния или на преодоление последствий аварий изменяются в пределах от  $C_{\min}$  до  $C_{\max}$ . Эти величины можно пронормировать:

$$r = \frac{C - C_{\min}}{C_{\max} - C_{\min}} \in [0; 1].$$

Все элементы матрицы  $r_{ij}$  можно взять в долях 1 или, после умножения всех элементов матрицы на 10,  $r_{ij} \leq 10$ . Методы решения игр изложены в специальной литературе и поэтому здесь не рассматриваются.

В качестве экспертной оценки рассматриваются различные варианты соотношений элементов матрицы  $r_{ij}$ . Таким образом, было установлено, что предпочтение отдается принятию решения с заниженной оценкой безопасности ( $P_1=0,78 > P_2=0,22$ ) и ориентация на обеспечение безаварийной эксплуатации шламохранилища ( $q_1=0,67 > q_2=0,33$ ). Здесь  $P_i$  и  $q_j$  частоты (вероятности) использования стратегий  $A_i$  и  $B_j$ .

Во втором случае может быть рассмотрена игра с анализом двух других решений по шламохранилищам:

$A_1$  — строительство нового шламохранилища;

$A_2$  — реконструкция существующего шламохранилища.

В качестве откликов системы рассматриваются:  $B_1$  — затраты на строительство или реконструкцию шламохранилища;  $B_2$  — затраты на преодоление негативных последствий в случае возникновения аварии на шламохранилище. Были рассмотрены различные варианты соотношения затрат  $C_{ij}$  при  $A_i$  и  $B_j$ . Допущено, что  $r_{22} > r_{11}$ ,  $r_{11} > r_{12}$ ,  $r_{11} > r_{21}$ ,  $r_{12} < r_{21}$ . Проанализированы различные варианты решений с соотношениями

$$n = \frac{r_{11}}{r_{12}} \text{ и } m = \frac{r_{22}}{r_{21}}.$$

Варианты	1	2	3	4	5
n	1,16	1,14	1,75	1,8	2,0
m	2,5	2,2	2,0	1,8	1,5

Решение находилось исходя из принципа максимина при различных вариантах соотношений потерь и различных вариантах сочетания  $A_i$  и  $B_j$ . Это дает возможность проанализировать общие тенденции при обосновании лучшего решения  $A_i$ . Таким образом, было установлено, что во всех случаях, кроме пятого варианта, предпочтение по безопасности (рisku возникновения аварии и преодоления ее последствий) отдается решению по строительству нового шламохранилища. С точки зрения безопасности, это легко обосновывается (рассредоточение нагрузки, повышенная надежность элементов сооружения, уменьшение масштабов негативного влияния экстремальных природных явлений (ураганы, бури, землетрясения)). При этом учитывается высокая степень (заниженная экспертная оценка) опасности аварии и различного рода нарушений безопасности.

Методы теории игр используются и в теории статистических решений. Принципиальная разница в этих задачах в том, что неопределенная ситуация не имеет конфликтной окраски. Таковы многие задачи прогнозирования разработки месторождений полезных ископаемых, воздействия на окружающую среду, предсказания метеоусловий и др.

Таким образом, широкое использование методов имитационного моделирования и теории игр позволит повысить надежность расчетов процессов в условиях риска и неопределенности, являющихся неотъемлемой сутью горного производства.