

УДК 622.25

**А.Е. Медведев**

## **МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ РИСКА НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ**

*Статья посвящена методикам оценки риска при проектировании угольных месторождений. Сделан анализ и представлены различные методики оценки технологических рисков, рассмотрены области их применения.*

*Ключевые слова: технологические риски, производственные риски, риски горного производства, проектирование шахт, методики оценки рисков.*

---

**A.E. Medvedev**  
**THE METHODS OF RISK  
ESTIMATION AT THE COAL MINES**

*The article is dedicated to the different methods of the risk estimation during coal mines designing. The analysis is made and various methods of technological risk estimation are presented; the ways of their implementation are reviewed.*

*Key words: technological risks, industrial risks, mining enterprise risks, pit designing.*

**А**нализ истории развития теории рисков показывает, что методы оценки риска развивались от наиболее простого статистического, применимого при наличии достаточной статистической информации, к теоретико-вероятностным и аналитическим методам, необходимость в которых возникла тогда, когда приобрели актуальность вопросы оценки рисков редких аварий на потенциально опасных объектах технической сферы с тяжелыми последствиями.

Основные методы оценки рисков и область их применения в зависимости от наличия статистической информации и математических моделей приведены на рисунке. Схема была предложена Вишняковым Я.Д. и Радеевым Н.Н. [1]

Когда поставлена конкретная задача расчёта риска, то наиболее

предпочтительным при наличии достаточной статистики является, конечно же, статистический метод, так как практика — критерий истины. Статистический метод применяют при минимальном числе допущений, но при этом необходим большой объем статистической информации. Объем наблюдений должен превышать некоторую величину  $N$  зависящую от оцениваемой вероятности, при этом число реализовавшихся негативных событий за один год должно быть больше 100. Большинство методов оценки рисков, основанных на конкретных статистических данных основаны на законах теории вероятностей. Мы не будем подробно описывать все эти способы анализа в данной статье, но представим два примера использования законов теории вероятности.

Согласно *закону умножения*, если два и более события могут происходить совместно и индивидуальные вероятности того, что каждое из них произойдет известны, то вероятность того, что они произойдут совместно равна произведению индивидуальных вероятностей. Таким образом, вероятность того, что произойдут события  $A$  и  $B$ , составляет:

$$P_{ab} = P_a * P_b ,$$



**Области применения основных методов оценки показателя риска типа вероятности в зависимости от наличия статистической информации и математических моделей**

Или в общем виде:

$$P_{ab} = P_a * P_b, \dots, * P_n$$

где  $P$  – вероятность наступления события.

Иногда требуется рассчитать вероятность того, что произойдет или событие А или событие Б, или случатся они оба, то такая вероятность по закону сложения равна:

$$P_{(a \text{ или } б)} = P_a + P_b - P_a P_b$$

Снизить требования к необходимому объему наблюдений позволяет объединение имеющейся статистической информации по проявлению рассматриваемого риска за прошедшие годы и в аналогичных объектах, подвергающихся той же опасности, а также привлечение дополнительной информации, в том числе знаний и опыта экспертов. Принципиальное отличие оценки технологических рисков от других типов рисков заключается в том, что она сопровождается глубоким инженерным анализом.

Согласно методическим указаниям по проведению анализа риска опасных производственных объектов, разработанным в своё время Госгортехнадзором, процесс проведения анализа риска включает следующие этапы:

- планирование и организацию работ;
- идентификацию опасностей;
- оценку риска;
- разработку рекомендаций по уменьшению риска.

Прежде чем перейти непосредственно к оценке проводится предварительный анализ.

При выборе методов проведения анализа риска необходимо учитывать этапы функционирования объекта (проектирование, эксплуатация и т.д.), цели анализа, критерии приемлемого риска, тип анализируемого опасного производственного объекта и характер опасности, наличие ресурсов для проведения анализа, опыт и квалификацию исполнителей, наличие необходимой информации и другие факторы.

Так, на стадии идентификации опасностей и предварительных оценок риска рекомендуется применять методы качественного анализа и оценки риска, опирающиеся на продуманную процедуру, специальные вспомогательные средства (анкеты, бланки, опросные листы, инструкции) и практический опыт исполнителей.

Практика показывает, что использование сложных количественных методов анализа риска зачастую дает значения показателей риска, точность которых для сложных технических систем невелика. В связи с этим проведение полной количественной оценки риска более эффективно для сравнения источников опасностей или различных вариантов мер безопасности (например, при размещении объекта), чем для формирования заключения о степе-

ни безопасности объекта. Однако количественные методы оценки риска всегда очень полезны, а в некоторых ситуациях и единственно допустимы, в частности для сравнения опасностей различной природы, оценки последствий крупных аварий или для иллюстрации результатов.

Для оценки и анализа риска на опасных производственных объектах и угольных шахт в частности, существует несколько методов, которые рассмотрены ниже.

*Методы проверочного листа и "Что будет, если...?"* или их комбинация относятся к группе методов качественных оценок опасности, основанных на изучении соответствия условий эксплуатации объекта или проекта требованиям промышленной безопасности.

Результатом реализации метода проверочного листа является перечень вопросов и ответов о соответствии опасного производственного объекта требованиям промышленной безопасности и указания по их обеспечению. Метод проверочного листа отличается от "Что будет, если...?" более обширным представлением исходной информации и результатов о последствиях нарушений безопасности.

Эти методы наиболее просты (особенно при обеспечении их вспомогательными формами, унифицированными бланками, облегчающими на практике проведение анализа и представление результатов), нетрудоемки (результаты могут быть получены одним специалистом в течение одного дня) и наиболее эффективны при исследовании безопасности звеньев производственной схемы с известной технологией.

*Метод анализа видов и последствий отказов (АВПО)* применяется для качественного анализа опасно-

сти рассматриваемой технической системы. Существенной чертой этого метода является рассмотрение каждого элемента составной части системы (технологической схемы шахты) на предмет того, как он стал, или мог бы стать, неисправным (вид и причина отказа) и какое было бы воздействие отказа на техническую систему.

Анализ видов и последствий отказа можно расширить до количественного анализа: *анализ видов, последствий и критичности отказов (АВПКО)*. В этом случае каждый вид отказа ранжируется с учетом двух составляющих критичности - вероятности (или частоты) и тяжести последствий отказа. Определение параметров критичности необходимо для выработки рекомендаций и приоритетности мер безопасности.

Результаты анализа представляются в виде таблиц с перечнем оборудования, видов и причин возможных отказов, с частотой, последствиями, критичностью, средствами обнаружения неисправности (сигнализаторы, приборы контроля и т. п.) и рекомендациями по уменьшению опасности.

Систему классификации отказов по критериям вероятности-тяжести последствий следует конкретизировать для каждого объекта или технического устройства с учетом его специфики, определяя категории критичности. Дж. Хенли рекомендует использовать следующие категории критичности [3]:

*Категория 1:* Отказ, потенциально приводящий к жертвам.

*Категория 2:* Отказ, потенциально приводящий к невыполнению основной задачи.

*Категория 3:* Отказ, приводящий к задержкам или потере работоспособности.

*Категория 4:* Отказ, приводящий к дополнительному, незапланированному обслуживанию.

Далее, элементы можно классифицировать, вычислив коэффициенты критичности  $C_r$ .

$$C_r = \sum_{i=1}^n \beta \alpha K_e K_A \lambda_G t \cdot 10^6, \quad n = 1, 2, \dots, N,$$

где  $C_r$  — коэффициент критичности для элементов системы в потерях на миллион попыток;  $n$  — число критичных видов отказов элемента системы, которые попадают под конкретное определение потерь;  $N$  — суммарное число критических видов отказов элементов системы, соответствующих данному определению потерь;  $\lambda_G$  — соответствующая частота отказов элементов системы, выраженная в отказах за час или цикл работы;  $t$  — время работы в часах или число работающих циклов данного элемента;  $K_A$  — коэффициент, учитывающий разницу между загрузкой элемента при определении параметра  $\lambda_G$  и ожидаемой загрузкой элемента в данной системе;  $K_E$  — коэффициент окружающих условий, учитывающий разницу между окружающими условиями при замене параметра  $\lambda_G$  и ожидаемыми условиями работы элемента.

Методы АВПО, АВПКО применяются, как правило, для анализа проектов сложных технических систем или технических решений. Анализ выполняются группой специалистов различного профиля (например, специалистами по технологии, инженером-механиком).

*Методом анализа опасности и работоспособности (АОР)* исследуются опасности отклонений технологических параметров (температуры, давления и пр.) от регламентных режимов. АОР по сложности и качеству результатов соответствует уровню АВПО, АВПКО.

В процессе анализа для каждой составляющей опасного производственного объекта или технологического звена определяются возможные отклонения, причины и указания по их недопущению. При характеристике отклонения используются ключевые слова "нет", "больше", "меньше", "так же, как", "другой", "иначе, чем", "обратный" и т.п. Применение ключевых слов помогает исполнителям выявить все возможные отклонения. Конкретное сочетание этих слов с технологическими параметрами определяется спецификой технологической схемы.

Результаты анализа представляются на специальных технологических листах (таблицах). Степень опасности отклонений может быть определена количественно путем оценки вероятности и тяжести последствий рассматриваемой ситуации по критериям критичности аналогично методу АВПКО.

Практика показывает, что крупные аварии, как правило, характеризуются комбинацией случайных событий, возникающих с различной частотой на разных стадиях возникновения и развития аварии (отказы оборудования, ошибки человека, нерасчетные внешние воздействия, разрушение, внезапный выброс метана на шахте, воспламенение, взрыв и т.д.). Для выявления причинно-следственных связей между этими событиями используют логико-графические методы анализа "деревьев отказов" и "деревьев событий".

При анализе "деревьев отказов" (АДО) выявляются комбинации отказов (неполадок) оборудования, инцидентов, ошибок персонала и нерасчетных внешних (техногенных, природных) воздействий, приводящие к головному событию (аварийной си-

туации). Метод используется для анализа возможных причин возникновения аварийной ситуации и расчета ее частоты (на основе знания частот исходных событий). При анализе "дерева отказа" (аварии) рекомендуется определять минимальные сочетания событий, определяющие возникновение или невозможность возникновения.

*Анализ "дерева событий" (АДС)* - алгоритм построения последовательности событий, исходящих из основного события (аварийной ситуации), используется для анализа развития аварийной ситуации. Частота каждого сценария развития аварийной ситуации рассчитывается путем умножения частоты основного события на условную вероятность конечного.

*Методы количественного анализа риска*, как правило, характеризуются расчетом нескольких показателей риска, и могут включать один или несколько вышеупомянутых методов (или использовать их результаты). Проведение количественного анализа требует высокой квалификации

исполнителей, большого объема информации по аварийности, надежности оборудования, выполнении экспертных работ, учета особенностей окружающей местности, метеоусловий, времени пребывания людей в опасных зонах и других факторов.

Количественный анализ риска позволяет оценивать и сравнивать различные опасности по единым показателям, что делает его наиболее эффективным:

- на стадии проектирования и строительства шахты;
- при обосновании и оптимизации мер безопасности;
- при оценке опасности крупных аварий на опасных производственных объектах, имеющих однотипные технические устройства (например, магистральные трубопроводы);
- при комплексной оценке опасностей аварий для людей, имущества и окружающей природной среды.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вишняков Я.Д., Радаев Н.Н. Общая теория рисков, М., Академия, 2007
2. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов РД 03-418-01 (утв. поста-

новлением Госгортехнадзора РФ от 10 июля 2001 г. N 30).

3. Хенли Э., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска. М., Машиностроение, 1984. **ГИАБ**

---

#### Коротко об авторе

Медведев А.Е. – аспирант, кафедра ПРПМ, Московский государственный горный университет, ud@msmu.ru

