УДК 622.831.32

А.Н.ШАБАРОВ, *д-р техн. наук, директор Научного центра – проректор, post@spmi.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (*технический университет*)

A.N.SHABAROV, *Dr. in eng. sc., director of research center, prorector, post@spmi.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (*Technical University*)

ТИПЫ И МЕХАНИЗМЫ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗАГЛУБЛЕННЫХ И НАЗЕМНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Показано, что большая часть аварий при разработке месторождений полезных ископаемых и при эксплуатации заглубленных и наземных инженерных сооружений приурочена к активным разломам. Разработана классификация опасных зон, установлены механизмы влияния геодинамической опасности на шахтах и эксплуатации трубопроводов. Предложена технология снижения геодинамического риска.

Ключевые слова: активный разлом, месторождения полезных ископаемых, геодинамический риск, шахты, трубопроводы, мониторинг.

TYPES AND MECHANISMS OF GEODYNAMIC HAZARD IN MINERAL DEPOSITS MINING AND EXPLOITATION OF BURIED AND SURFACE ENGINEER CONSTRUCTIONS

It is shown that major emergencies in mineral deposits mining and in exploitation of buried and surface engineer constructions are attributed to active faults. Classification of hazardous zones has been developed. The mechanisms of influence of geodynamic hazard in coal mines and pipeline exploitation were determined. The technology of reduction of geodynamic risk was suggested.

Key words: active fault, mineral deposits, geodynamic risk, mines, pipelines, monitoring.

Статистика техногенных динамических событий и аварий при разработке месторождений полезных ископаемых и эксплуатации заглубленных и наземных инженерных сооружений показывает не равномерное распределение по осваиваемой территории, а их сосредоточение в определенных местах. На одних участках земной поверхности произошли десятки аварий, а на соседних такие ситуации отсутствовали. В результате проведенных исследований обнаружено, что проблемные участки – это, в первую очередь, зоны активных разломов, образованные или обновленные в четвертичном периоде.

Однако далеко не все разломы оказывают влияние на инженерные объекты и горные выработки: совокупности опасных факторов и значимость каждого из них существенно различаются у инженерных сооружений разных типов.

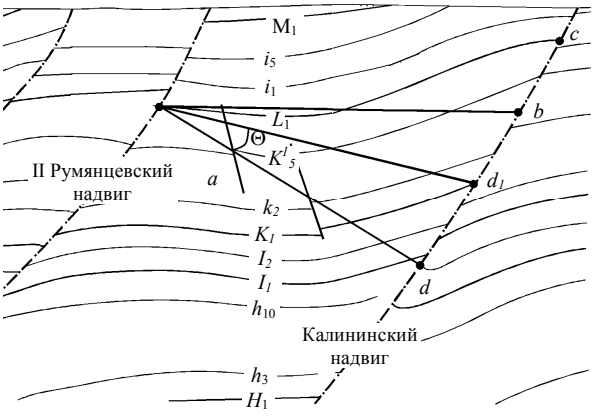
При подземной разработке полезных ископаемых наиболее опасны тектонически напряженные зоны (ТНЗ), формирующиеся около геологических нарушений различных типов.

Проведенные исследования показали, что положение зон повышенной опасности в складчатых структурах зависит от типа складок. В пологих складках с внутренним углом более 90° и малой величиной изгиба наибольшее увеличение уровня напряжений и удароопасности приходится на замок складки. Однако в замках крутых складок, напротив, наблюдается уменьшение крепости угля. Так, для условий Кузбасса крепость угля в приосевых частях как антиклинальных, так и синк-

линальных складок понижена в 2 раза и более по сравнению с крыльями складок. В этих случаях ТНЗ располагаются в переходных зонах от крыльев к замку. Значительную опасность представляют также флексурные складки, переходный тип нарушений от пликативных к дизъюнктивным – широко распространенные на угольных месторождениях. Наиболее интенсивные ТНЗ, как правило, сосредоточены в замковой зоне флексурных складок и около замыканий разрывов, продолжающих флексуры.

Однако самые интенсивные ТНЗ приурочены к активным разрывным нарушениям. Проведенные исследования показали, что уровень напряжений существенно меняется по длине разрывов. Наиболее интенсивные ТНЗ (тип I) приурочены к замыканиям разрывов и участкам, где шов нарушения представляет собой плотно сомкнутую трещину. Напротив, те участки, где разрыв представляет собой зону трещиноватости или дробления (тип II), являются разгруженными, а зоны повышенных напряжений находятся на отдалении от разрыва и обладают меньшей интенсивностью.

Интенсивные ТНЗ связаны не только с единичными разрывами, но и с системами разрывов. К числу наиболее опасных структур, формирующих интенсивные ТНЗ, в первую очередь, относятся кулисообразные системы разрывов, сближения разрывов, разветвления под острыми углами (до 15-20°), клиновидные структуры. Локальные ТНЗ формируются также в местах пережимов и раздувов пластов и любых значимых изменений их гипсометрии, даже если они не связаны с выраженными складками.



Метод вычисления показательности блоков: $D = ad_1 / ad$

Опасность каждой отдельной ТНЗ существенно зависит от ее положения в блоковой структуре массива, в первую очередь, от напряженности блока, в котором она находится. В общем случае оценка напряженности геодинамического блока представляет собой сложную задачу, для решения которой необходимы как натурные измерения, так и использование математического и физического моделирования.

В то же время при пологом залегании и относительно слабо выраженной пликативной деформированности, как показали наши исследования, возможен очень простой метод оценки напряженности блоков. Суть этого метода – определение сдвиговой деформированности блоков с помощью показателя D (см.рисунок). Если граничные разрывы представлены надвигами, взбросами или сбросами, то определение показателя D производится на вертикальных разрезах. Когда границы блока представлены сдвигами, то показатель D определяется в горизонтальной проекции. Возможность использования суммарной деформированности (за длительный период) для оценки современного напряженного состояния обуславливается рядом факторов: устойчивостью ориентировки главных нормальных напряжений; большими остаточными напряжениями при сильном деформировании; изменениями структуры породного массива, прежде всего его уплотнением, которое в значительной степени определяет склонность блока к накоплению упругой энергии.

Лучшим доказательством возможности использования данного показателя является корреляция между количеством опасных геодинамических явлений и значением D – для центрального района Донбасса коэффициент корреляции составляет 0,87, для Воркутскутинского месторождения – 0,95, а для Северо-Уральского месторождения – 0,97. При интенсивной складчатости эта связь не столь сильно выражена, тем не менее корреляция вполне значима. Например, для Прокопьевско-Киселевского района Кузбасса коэффициент корреляции равен 0,4 для количества горных ударов и 0,5 – для количества выбросов.

При ведении очистных работ в области ТНЗ техногенная пригрузка (опорное давле-

ние) приводит к формированию предельно напряженных геодинамически опасных зон (ГОЗ). При этом процесс создания таких зон, их количество, размеры и уровень опасности зависят от напряженности тектонических блоков и типа разрывных нарушений. Как показали измерения в Воркуте и Кузбассе (Анжерское месторождение), при ведении очистных работ в ТНЗ напряжения возрастают в среднем в 1,5 раза.

Для более точного прогноза различных геодинамических рисков необходимо учитывать и характер ТНЗ и напряженность блока, в котором зона находится. Это значит, что базовая классификация для оценки вероятности геодинамических явлений должна строиться на двух признаках. Приведем двумерную классификацию, основанную на бинарном ранжировании каждого из факторов.

Опасный участок разрыва I типа:

- при напряженных блоках:
  - ТНЗ I типа;
  - наиболее опасный случай;
  - при проведении подготовительных выработок возможны стреляния, толчки, микроудары, внезапные выбросы, иногда горные удары;
  - при очистных работах возможны горные удары и выбросы, иногда горно-тектонические удары;
- при ненапряженных блоках:
  - малоинтенсивные ТНЗ, но по распределению близкие к ТНЗ I типа;
  - при очистных работах возможны выбросы, стреляния, толчки, микроудары, реже – горные удары;
  - такие ТНЗ можно сопоставить с ТНЗ, связанными с твердыми включениями (например, линзами песчаника).

Менее опасный участок разрыва II типа:

- при напряженных блоках:
  - ТНЗ II типа;
  - при проведении подготовительных выработок возможны высыпания, обрушения кровли, газодинамические явления;
  - при очистных работах возможны высыпания, обрушения кровли, газодинамические явления, стреляния, толчки, микроудары;
- при ненапряженных блоках:
  - отсутствие ТНЗ;
  - при проведении подготовительных выработок и очистных работах возможны высыпания, обрушения кровли.

Также были получены важные результаты, касающиеся геодинамической безопасности магистральных трубопроводов, железных дорог, городских инженерных коммуникаций и автомагистралей. В первую очередь был установлен основной механизм влияния активных разломов на нарушения и порывы магистральных газопроводов. Как показали исследования, на аварийность трубопроводов в приразломных зонах наибольшее влияние оказывают минерализация подземных вод, поступающих через разломы и зоны дробления, степень разбавления подземных вод поверхностными, степень напряженности разлома (характер поля напряжений и ориентация разлома относительно него), а также близость расположения трубопроводов к магистральным ЛЭП, усиливающим процессы электрокоррозии, пробоя защитных покрытий и электрохимической защиты. Были выполнены исследования факторов аварийности трубопроводов в районах вечной мерзлоты.

Для решения проблемы снижения аварийности при ведении горных работ и эксплуатации инженерных сооружений предлагается проводить геодинамическое районирование, выделять потенциально активные зоны и оценивать другие факторы аварийности для различных объектов. Затем с помощью геодинамического моделирования сопоставляются различные варианты отработки месторождений, прокладки трасс трубопроводов и т.д. и выбирается наиболее безопасный вариант. Для обеспечения безопасности эксплуатации необходим комплексный геодинамический мониторинг.

Результаты проведенных исследований подтвердили, насколько сильно безопасность горных работ, транспортных сетей и инженерных сооружений зависит от строения горного массива и происходящих в нем процессов. Места с наиболее выраженным риском аварий в большинстве случаев уже заданы заранее.