

Сведения о ходе выполнения проекта

**«Изучение механизмов формирования и развития очагов разрушения в горных массивах как в многомасштабных нелинейных динамических системах с целью прогноза опасных катастрофических разрушений»,
поддержанного Российским научным фондом**

Соглашение № 14-17-00198

Руководитель д-р физ.-мат. наук Макаров Павел Васильевич

2015 год

Получены следующие результаты:

1) Выполнен обзор литературных данных, включая отчёты, проведён анализ происшествий (обрушения, горные удары) с целью выявления причин опасных динамических явлений в горных массивах с выработками. Основное внимание уделено работам по изучению неравновесных состояний геосреды, отвечающих современным высокопроизводительным технологиям добычи полезных ископаемых, разработке удароопасных пластов. На настоящем этапе решения возникающих новых проблем геодинамики горных массивов с выработками во многом опираются на эмпирический опыт, что несомненно полезно, но фундаментальная научная проработка новых проблем геодинамики, таких как изучение эволюционных сценариев формирования очагов разрушения, практически не проводилась. Отсутствие в действующих нормативных документах методик учёта динамики геомеханических процессов и оценок нестационарности процесса накопления повреждений в элементах горных массивов привели к тому, что большое значение приобрели методы оперативного прогноза опасных проявлений горного давления, основанные на эмпирических данных, статистике и физическом эксперименте. Особый интерес представляют работы, в которых анализ наблюдений выполнен с точки зрения нелинейной динамики. Так, показано, что структура высокочастотного сейсмического шума заметно отличается от случайного процесса и рассматривается с позиций концепции самоорганизованной критичности, что можно трактовать как состояние близости геосреды к критическому состоянию.

2) В целом, накопленный обширный материал отражает главнейшие аспекты проявлений динамических явлений. Необходимость его теоретического обобщения с позиций нелинейной динамики в целом осознана научной общественностью. Для верификации разрабатываемой эволюционной концепции механического поведения горного массива с выработками и физической модели были построены 3D структурные модели ряда образцов горных пород. На основе анализа публикаций и данных горно-геологических характеристик вмещающих пород и пластов Кузбасского бассейна проанализированы величины посадок кровли в зависимости от глубины залегания, скорости проходки, мощностей непосредственной и основной кровли, определены физико-механические параметры пород, слагающих горный массив.

3) Разработаны физические модели, описывающие механическое поведение и особенности реологии структурных элементов горного массива и скоростей

накопления повреждений. Так скорость накопления повреждений в модели деградации прочности нагружаемой среды принята пропорциональной величине уже накопленных повреждений в степени α ($0 \leq \alpha \leq 2$). Это означает, что реакция на нагружение геосреды, выраженная в данном случае процессом накопления повреждений является типичной реакцией динамической нелинейной системы.

4) Выполнена верификация разработанных физических моделей по данным лабораторных испытаний образцов горных пород на сжатие и трёхточечный изгиб и горных массивов с выработками по данным натуральных наблюдений, включая первичные и установившиеся посадки кровли в зависимости от мощности кровли и глубины выработки.

5) Изучены особенности эволюции НДС в горном массиве с выработками вблизи критического состояния. Показано, что на этапе формирования очага макроскопического разрушения в виде свода, оконтуривающего повреждения более мелких масштабов, в горном массиве формируется критическое состояние по мере увеличения пролёта зависающей кровли. Анализ характера накопления повреждений в значимых структурных элементах горного массива свидетельствует о следующих особенностях формирования очага макроскопического разрушения: проявляется самоподобие накопления повреждений на разных масштабах, режим с обострением наблюдается как в локальных точках среды, когда разрушается отдельно взятый объём геосреды, так и при глобальной потере устойчивости, когда критическое состояние достигается во всём горном массиве при генеральном обрушении.

6) С целью оценки степени неравновесности горного массива на этапе формирования очага макроскопического разрушения и выявления предвестников катастрофических обрушений были применены методы Фурье анализа и непрерывного и дискретного Вейвлет-анализа флуктуаций параметров НДС, в том числе на этапе активного формирования очага макроскопического разрушения и перехода разрушения в сверхбыстрый катастрофический режим. В численном эксперименте при приближении общего состояния горного массива к глобальной потере устойчивости – макроскопическому разрушению (генеральному обрушению свода) ярко выражена зона «сейсмического» затишья на высоких частотах. Эти данные вместе с уменьшением угла наклона прямой амплитудно-частотной характеристики (Фурье-анализ, аналог графика повторяемости) трактуются как предвестники катастрофического события.