

УДК 622.281.74

*Солодянкин А.В., к.т.н. доц., Гапеев С.Н., к.т.н. доц.,  
аспирант Кравченко К.В., НГУ, г. Днепрпетровск, Украина*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РАСЧЁТЕ АНКЕРНЫХ СИСТЕМ**

*Выполнено при поддержке CRDF, грант USB1-021-DP-07*

По вопросам анкерного крепления выполнено большое число исследований отечественных и зарубежных учёных, позволивших на научной основе глубже подойти к раскрытию физической сущности этого вида крепления. В научной литературе имеется большое количество гипотез о схеме работы анкерного крепления в выработках. Можно выделить несколько основных групп.

К первой группе относятся гипотезы, согласно которым неустойчивые породы кровли подвешиваются при помощи анкеров к устойчивым вышележащим породам. В этой схеме подразумевается, что анкерная крепь оказывает только силовое противодействие обрушающимся породам. Она применима при малых размерах зон обрушения. Такова основа предложений П.Б. Бакки, Б.К. Чукана, А.П. Широкова, И.А. Юрченко, В. Подгорского и других авторов. Длина анкеров принимается при этом из условия закрепления их за пределом зоны возможного обрушения или необратимой деформации. Плотность установки анкеров, как правило, определяется из условия, чтобы суммарная несущая способность замка анкера (иногда прочности штанги) превышала вес обрушающихся горных пород приконтурной зоны выработки, приходящейся на один анкер.

Согласно гипотезам второй группы, взаимодействие анкерной крепи с породами кровли приводит к формированию грузонесущей конструкции, аналогичной составной балки, трехшарнирной арки, свода. Скрепляемые породы подвергаются сжатию, а анкера воспринимают растягивающие усилия. Такова основа предложений впервые О. Якоби, и получила дальнейшее развитие в работах Г. Сена, Э. Томаса, Х. Мидендорфа, А.А. Борисова, Б.К. Чукана, А. Югона, А. Коста и других авторов. При этом параметры анкерного крепления определяются в зависимости от натяжения анкеров, прочностных свойств материала, из которого изготовлены штанги.

Рассмотренная теория работы анкерной системы с породным массивом, в приконтурной зоне выработки, хорошо согласуется, для средних глубин разработки. В условиях больших глубин достоверность расчетных параметров на основе этих гипотез снижается. Кроме того, в рамках таких схем не представляется возможным определить параметры анкерной крепи как средства для управления состоянием пород приконтурной зоны.

К третьей группе относятся гипотезы, согласно которым анкерная крепь рассматривается как средство повышения категории устойчивости приконтурных

пород. Согласно работам [1, 2] анкерная крепь оказывается эффективным средством управления состоянием приконтурной зоны не только при заложении выработок в породах I и II категорий устойчивости, но и в породах более низких категорий устойчивости, в которых размер зоны разрушения превышает длину анкера.

В чём-то гипотезы третьей группы согласуются с гипотезами второй группы.

Дополнительным фактором при выполнении анализа в раскрытии физической сущности анкерной крепи является очевидный факт проведения выработок в условиях “больших глубин”. В этом случае, в приконтурной области выработки образуется, значительная зона неупругих деформаций (ЗНД). Многочисленные исследования за смещением глубинных реперов подтверждают образование зоны разрушенных пород вокруг выработки, по всему периметру их сечения. Глубина развития ЗНД доходит до 8 – 10 м. Это соответствует показателю устойчивости для неустойчивых и весьма неустойчивых пород ( $K_y \geq 0,3$ ).

$$K_y = \gamma \cdot H / R_c \cdot k_c,$$

Здесь:  $\gamma$  – объемный вес грунта,

$H$  – глубина заложения выработки,

$R_c$  – предел прочности на сжатие материала массива,

$k_c$  – коэффициент структурно-механического ослабления массива.

Исследования состояния приконтурного массива, проводимые в натуральных условиях, и процесса взаимодействия его с анкерной крепью достаточно сложны. Для всестороннего изучения этих задач обычно используют комплексный подход, в том числе лабораторное и математическое моделирование.

**Цель работы** – изучение на моделях с эквивалентных материалов рациональных параметров анкерного крепления для обеспечения достаточной устойчивости горных выработок.

**Материалы и результаты исследований.** Цель физического моделирования заключается в воспроизведении и изучении на модели физического процесса, подобного происходящему в натуральных условиях. Метод моделирования позволяет на уменьшенных или увеличенных по отношению к действительности моделях проводить детальные качественные и количественные исследования изучаемого процесса.

Наиболее удобным для исследования проявлений горного давления является метод моделирования на эквивалентных материалах, предложенный Кузнецовым Г.Н. в 1936 г. [3].

Сущность моделирования методом эквивалентных материалов заключается в замене естественных горных пород природы такими искусственными материалами в модели, основные показатели физико-механических свойств, которых

удовлетворяют требованиям общих положений теории механического подобия и обеспечивают достижение близкой аналогии в проявлениях деформаций, разрушений и смещений пород, происходящих в натуре и в модели под воздействием сил тяжести самих материалов, слагающих модель, и соответствующих пригрузок.

Модель достаточно полно отражает НДС массива в натуре. Соблюдение же граничных условий по торцам модели не представляется возможным. Однако можно утверждать, что роль торцов становится заведомо малой на расстояниях от них, равных высоте модели (принцип Сен-Венана). Поэтому при отработке моделей замеры величин смещений кровли и давления на крепь являются достоверными только на ее средней части.

Моделирование на эквивалентных материалах позволяет с большой степенью детальности проследить механизм процессов в толще пород при движении забоя выработки, особенно процессов деформирования пород с разрывом сплошности, что обычно исключено при других методах моделирования. Вследствие этого метод эквивалентных материалов является наиболее действенным, благодаря чему он получил широкое применение при решении различных задач механики горных пород.

С целью изучения характера деформации массива в окрестности проводимой выработки и определения параметров анкерного крепления была проведена серия лабораторных испытаний на специальном плоском стенде (рис. 1), находящемся на кафедре строительства и геомеханики Национального горного университета.

Для обеспечения достоверности и максимального приближения к реальным контурным условиям необходимым признаком экспериментов является соблюдение следующих факторов:

- создание горно-технических условий, горно-геологических характеристик вмещающих пород, соответствие размеров и формы выработки;
- критерии физического, силового и геометрического подобия (масштаб моделирования 1:50);



*Рис. 1. Специальный стенд для плоского моделирования на эквивалентных материалах*

- крепь выработки и её жёсткостные характеристики материала приняты в качестве анкеров куски проволоки длиной до 50 мм, диаметром 0,5 мм, опорная плита 4x4 мм, соответствующим размерам в натуральных условиях 2,5 м, 25 мм, 200x200 мм;

- граничные условия у граев модели не учитываем их влияние на исследуемый объект – выработку, закреплённую анкерами. Что соответствует принципам Сен-Венана;

— в качестве воспроизводимого массива используем песчано-графитовую смесь;

Используя вышеперечисленные требования, были промоделированы условия взаимодействия анкерной системы с приконтурной зоной. Выработка, арочной формы, расположена в однородных породах, представленных угле-вмещающими породами типа аргиллита и алевролита.

Для выполнения работ по моделированию изготовлен специальный стенд, представляющий собой плоскую камеру с передней стенкой из оргстекла и систему рычажных домкратов. Внутренняя поверхность рабочей камеры стенда перед формированием модели тщательно протирается графитовым порошком для уменьшения сил трения на контакте “эквивалентный материал – стекло”. Затем привинчивается передняя крышка стенда, к которой крепятся ребра жесткости для предотвращения выпучивания оргстекла.

Формируется модель слоями толщиной 5...10 мм, разогретым эквивалентным материалом. После его остывания убирается передняя стенка стенда. На поверхность модели наносится с помощью шнура и мела прямоугольная мерная сетка с размерами ячейки 2x2 см в центре модели “проходится” выработка. Высота и ширина ее составляла, в пересчете на натуру, 3,5 и 5 м соответственно (рис 2).

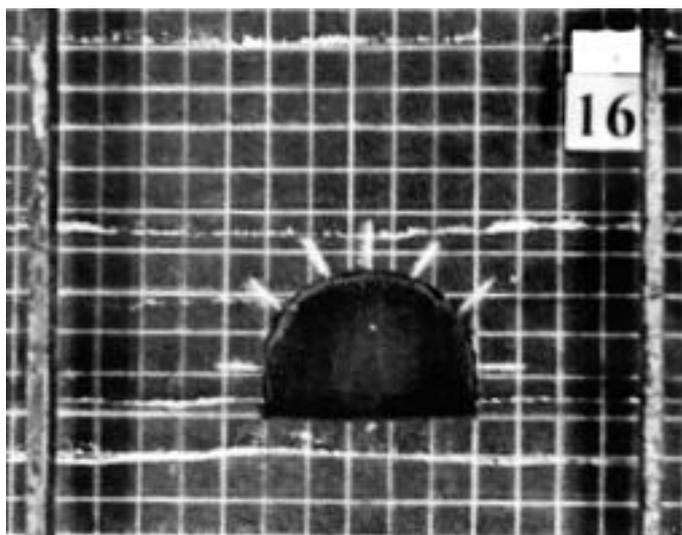


Рис. 2. Модель до начала нагружения при установке 7 анкеров длиной 20 мм (1 м в натуре)

После этого в выработке устанавливали различное количество анкеров. Затем на стенде закрепляется передняя стенка из оргстекла, ребра жесткости и с помощью рычажных домкратов моделируемый массив загружается. Нагрузка задается с интервалом в 5 кг. Возникающие при этом деформации мерной сетки регистрируются на каждом этапе нагружения с помощью фотоаппарата, установленным в одном положении на время всего эксперимента. Качественная картина поведения массива строилась на

основании изучения изменений фиксированного квадрата мерной сетки на фотоснимках (рис. 3).

## ВЫВОДЫ

Анализ результатов моделирования позволил сделать следующие выводы:

— достаточная плотность установки анкеров находится в пределах 0,83...1,0 на 1 м<sup>2</sup>, дальнейшее увеличение количества анкеров существенно не влияет на

процессы, происходящие в массиве, а только увеличивает расход металла и время возведения крепи;

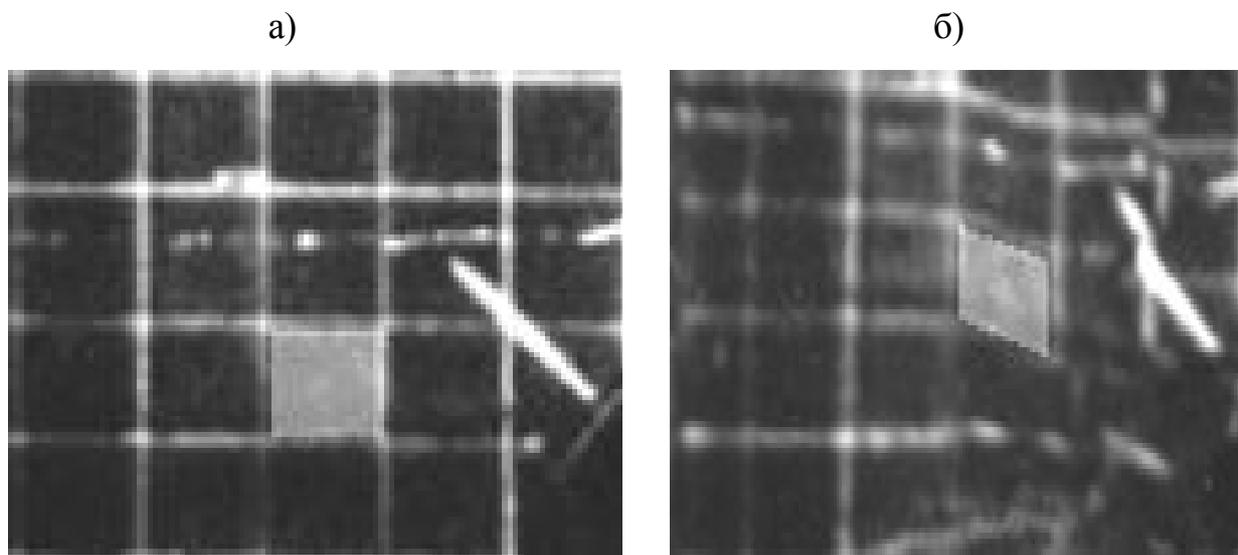


Рис. 3. Квадрат мерной сетки до начала (а) и в конце (б) нагружения

— рациональная длина анкера находится в пределах 44...50 мм (2,2...2,5 м), что подтверждается натурными экспериментами;

— уменьшение длины анкера приводит к увеличению зоны отжима в боках выработки, максимальная зона наблюдается при  $la = 20$  мм (1 м). Поскольку снижается несущая способность заанкерованных пород кровли при меньшей длине анкера, опорное давление распределяется на боковые части выработки, что приводит к увеличению отжима в боках;

— параметры анкерной системы в конечном итоге определяются параметрами (размерами) зоны неупругих деформаций, образующейся вокруг выработки;

— в случае незакрепленной выработки трещина в кровле не образовывалась, но при определенных нагрузках непосредственная кровля обрушалась, а основная сильно прогибалась, оставаясь неразрушенной;

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Виноградов В.В. Геомеханика управления состоянием массива горных пород. – К.: Наукова думка, 1989. – 192 с.

2. Булат А.Ф., Виноградов В.В. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт. – Днепропетровск.: Ин-т геотехнической механики НАН Украины, 2002. – 372 с.

3. Изучение проявлений горного давления на моделях / Кузнецов Г.Н. и др. / Под ред. Кузнецова Г.Н. – М.: Углетехиздат, 1959. – 283 с.