

УДК 622.016

СТАРИКОВ Г.П. (ИФГП НАН УКРАИНЫ), НОВИКОВ А.О., ШЕСТОПАЛОВ И.Н. (ДОННТУ)

## **ПРЕДЕЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ГОРНОГО МАССИВА, АРМИРОВАННОГО ПРОСТРАНСТВЕННЫМИ АНКЕРНЫМИ СИСТЕМАМИ**

*В статье изложены результаты лабораторных исследований по определению основных механических характеристик породного массива, армированного пространственными анкерными системами.*

В последние годы, в Украине, разработан и утвержден ряд программных документов, цель которых повысить эффективность работы угольной промышленности. К 2010 году намечено увеличить добычу угля до 100 млн.т. При этом, одним из приоритетных направлений снижения затрат на добычу угля в этих программах является внедрение новых технологий с использованием анкерной крепи.

Несмотря на определенные успехи в их выполнении, объемы крепления выработок анкерной крепью в настоящее время составляют не более 40 км.

По мнению авторов, основной причиной, препятствующей широкому внедрению анкерной крепи на шахтах Украины является не достаточное понимание ее роли в процессе поддержания выработки, а также отсутствие нормативной базы, позволяющей с учетом конкретной геомеханической ситуации, обосновано принять ее параметры.

В настоящее время, расчет параметров анкерной крепи производится в соответствии с требованиями нормативных документов [1,2,3,4], в основу которых положены представления об анкерной крепи как о несущей конструкции, работающей по схемам «Подшивка» и «Сшивка». Расчет параметров анкерной крепи, как правило, основывается на необходимости соотнести ее «несущую способность» с величиной «нагрузки на крепь», которая формируется в результате разрушения вмещающего выработку массива и реализующихся в ее полость смещений пород. Такие представления о механизме взаимодействия анкерной крепи и массива приводят к ограничению области ее применения, как самостоятельной конструкции, второй категорией устойчивости выработок (смещения контура не превышают 200 мм) и завышению значений плотности установки анкеров, делая применение анкерной крепи экономически не целесообразным.

По мнению авторов, возводимая в приконтурном массиве анкерная крепь, представляет собой композитную, породно-металлическую конструкцию, размещение в которой пространственной совокупности армирующих элементов (анкеров), позволяет изменить структуру и деформационные свойства массива, создать препятствия его разрушению, управлять формированием вокруг выработки зоны разрушенных пород.

В настоящее время, в паспортах крепления, как правило, закладывается радиальное расположение анкеров, что, по мнению авторов, является самым не рациональным, т.к. область влияния анкеров на массив в этом случае минимальная. В ДонНТУ, на протяжении последних 10 лет предложены принципиально новые, пространственные схемы анкерования массива, позволяющие при минимальном количестве анкеров максимально использовать его несущую способность. Однако, проведение шахтных экспериментов по изучению особенностей деформирования породного массива в выработках с анкерным креплением весьма трудоемко и затруднительно, поэтому авторы вынуждены использовать лабораторные методы.

Задачей данных исследований являлось установление предельных прочностей и деформаций породного массива, при различных схемах его анкерования.

Исследования проводились на образцах из цементно-песчаных растворов [5]. Изготавливались кубические образцы 55х55х55 мм, которые моделировали участок

породного массива объемом 1 м<sup>3</sup>. Моделировались горные породы прочностью 20, 30, 40 и 50 МПа, залегающие на глубине 1000 м. В моделируемом участке породного массива располагались 4 анкера из стальной проволоки диаметром 1 мм.

Схемы пространственного размещения анкеров в моделях представлены на рисунке 1.

По стандартным методикам [6,7,8] проводились испытания образцов на одноосное сжатие, одноосное растяжение и объемное сжатие. Испытания образцов производились на жестких прессах с фиксацией величины прикладываемой нагрузки и соответствующей величины деформации (рисунок 2).



**Рис. 2.** Общий вид установки для испытаний образцов на объемное сжатие

Всего было испытано 216 образцов (по двадцать семь образцов в каждой серии). В каждой серии испытывались по три одинаковых образца, относящихся к схемам армирования 1-8. Результаты испытаний на одноосное сжатие и растяжение представлены в таблицах 1 и 2.

**Таблица 1 – Результаты испытаний на одноосное сжатие**

№ п/п	Моделируемая прочность на сжатие, МПа	Прочность модели на сжатие при армировании по схеме, Мпа							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	20	5,70	7,20	6,00	6,20	5,20	5,20	5,15	5,60
2	30	10,20	12,80	10,90	11,00	9,30	9,30	9,35	10,10
3	40	13,10	16,30	13,90	14,20	12,00	11,95	11,90	12,90
4	50	19,20	24,50	20,80	21,00	17,60	17,50	17,60	19,00

**Таблица 2 – Результаты испытаний на одноосное растяжение**

№ п/п	Моделируемая прочность на сжатие, МПа	Прочность на растяжение при армировании по схеме, Мпа							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	20	0,65	0,7	0,75	0,70	0,70	0,80	0,65	0,70
2	30	0,95	0,95	1,10	1,00	1,00	1,20	0,95	1,05
3	40	1,35	1,35	1,50	1,50	1,50	1,70	1,40	1,50
4	50	1,85	1,85	2,1	2,05	2,05	2,30	1,90	2,05

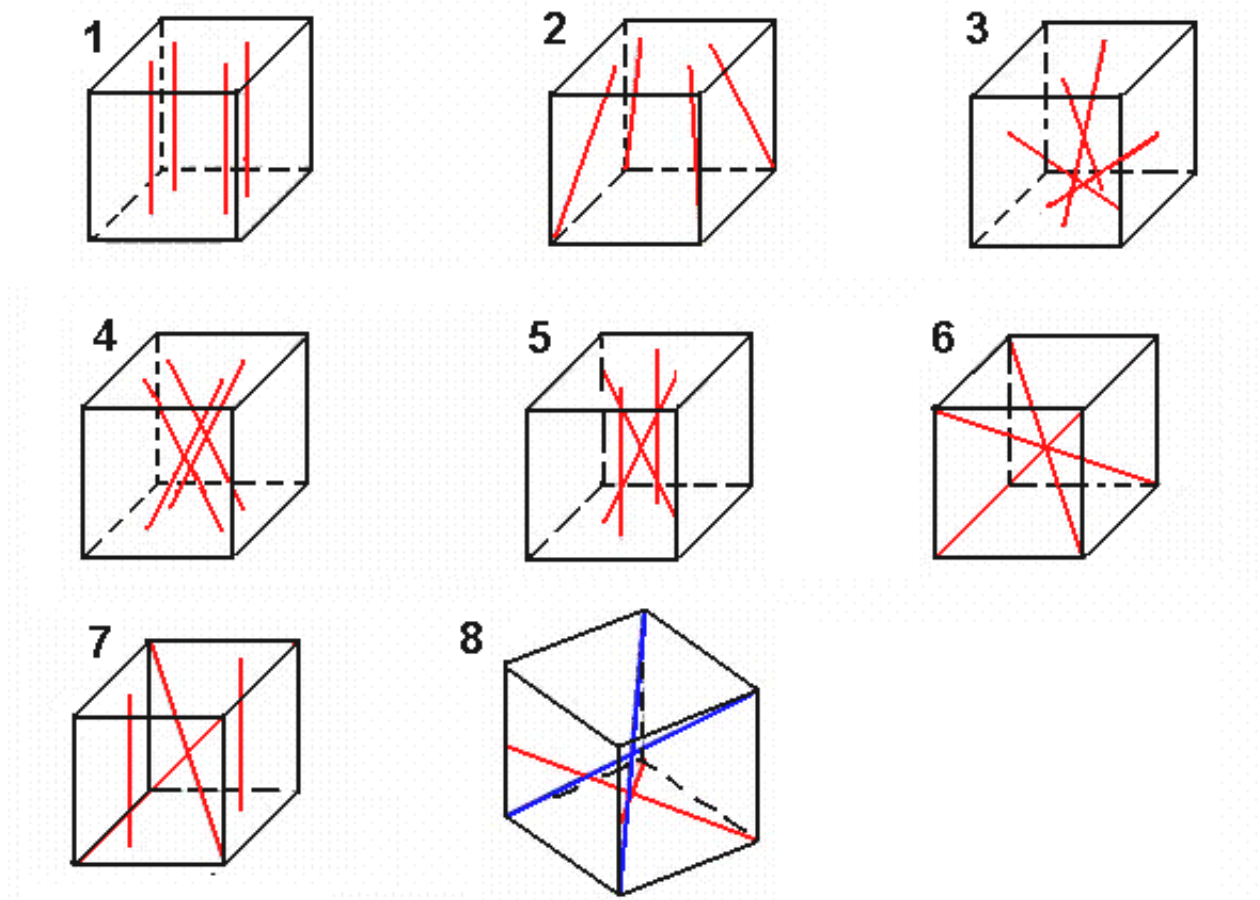


Рис. 1. Схемы анкерования образцов

По результатам испытаний образцов на объемное сжатие были определены следующие параметры, характеризующие несущую способность породного массива армированного пространственными анкерными системами при объемном напряженном состоянии: предельное значение напряжений  $\sigma_{пр}$ , предельные относительные деформации  $\varepsilon_{пр}$ , относительные остаточные деформации  $\varepsilon_{ост}$ . Значения этих параметров для массива с прочностью пород на одноосное сжатие 20, 30, 40 и 50 МПа и схем анкерования 1-8 представлены в таблицах 3-6.

**Таблица 3** – Основные параметры, характеризующие предельное состояние массива прочностью 20 МПа, армированного пространственными анкерными системами

Номер схемы армирования образца	Предельное значение напряжений $\sigma_{пр}$ , МПа	Предельные относительные деформации $\varepsilon_{пр}$ , %	Относительные остаточные деформации $\varepsilon_{ост}$ , %
1	36,89	9,96	10,52
2	55,44	14,28	14,95
3	40,15	12,74	13,48
4	67,82	16,49	17,54
5	86,33	18,45	19,80
6	86,34	16,47	17,30
7	82,57	19,79	20,63
8	46,69	10,10	11,09

По результатам испытаний образцов с прочностью 20 МПа (табл.3) установлено, что все предлагаемые схемы (2-8) по всем сравниваемым показателям лучше традиционной (схема 1) с радиальным расположением анкеров. Они обеспечивают повышение предельного значения разрушающих напряжений в 1,26 – 2,34 раза, предельных относительных деформаций на 0,14 – 9,83 %, относительных остаточных деформаций – на 0,57 – 10,11 %. Лучшими оказались схемы 7, 5, 4, 6 и 2.

**Таблица 4** – Основные параметры, характеризующие предельное состояние массива прочностью 30 МПа, армированного пространственными анкерными системами

Номер схемы армирования образца	Предельное значение напряжений $\sigma_{пр}$ , МПа	Предельные относительные деформации $\varepsilon_{пр}$ , %	Относительные остаточные деформации $\varepsilon_{ост}$ , %
1	66,35	13,66	14,76
2	86,28	15,91	16,52
3	71,40	14,56	15,75
4	78,64	14,50	15,27
5	81,74	15,25	16,30
6	76,05	15,50	16,22
7	75,87	14,01	14,96
8	81,11	14,35	14,95

Аналогичные результаты были получены при испытаниях образцов с прочностью 30 МПа (табл.4). Предлагаемые схемы пространственного анкерования позволили повысить предельное значение разрушающих напряжений в 1,08 – 1,3 раза, предельных относительных деформаций на 0,35 – 2,25 %, относительных остаточных деформаций – на 0,19 – 1,76 %. Лучшими оказались схемы 2, 5, 6, 4 и 8.

**Таблица 5** – Основные параметры, характеризующие предельное состояние массива прочностью 40 МПа, армированного пространственными анкерными системами

Номер схемы армирования образца	Предельное значение напряжений $\sigma_{пр}$ , МПа	Предельные относительные деформации $\varepsilon_{пр}$ , %	Относительные остаточные деформации $\varepsilon_{ост}$ , %
1	80,12	10,73	12,04
2	114,18	11,43	13,03
3	116,72	12,90	14,50
4	115,76	10,79	12,1
5	113,07	13,09	14,90
6	113,51	14,08	15,41
7	107,75	15,03	16,59
8	104,84	10,83	12,25

В породах с прочностью 40 МПа (табл.5), предлагаемые схемы 2-8 пространственного анкерования позволили повысить предельное значение разрушающих напряжений по сравнению со схемой радиального расположения анкеров(схема 1) в 1,31 – 1,46 раза, предельных относительных деформаций на 0,10 – 4,3 %, относительных остаточных деформаций – на 0,21 – 4,55 %. Лучшими оказались схемы 7, 6, 5, 3 и 2.

**Таблица 6** – Основные параметры, характеризующие предельное состояние массива прочностью 50 МПа, армированного пространственными анкерными системами

Номер схемы армирования образца	Предельное значение напряжений $\sigma_{пр}$ , МПа	Предельные относительные деформации $\varepsilon_{пр}$ , %	Относительные остаточные деформации $\varepsilon_{ост}$ , %
1	98,77	9,33	10,46
2	132,34	12,02	13,98
3	100,21	12,66	13,47
4	132,18	10,93	12,68
5	117,56	17,07	19,39
6	106,95	14,22	15,27
7	145,19	12,86	15,21
8	136,27	12,14	13,84

Сравнивая результаты испытаний образцов с прочностью 50 МПа (табл.6) можно отметить, что все предлагаемые схемы по значениям всех анализируемых показателей лучше традиционной (схема 1) с радиальным расположением анкеров. Они обеспечивают повышение предельного значения разрушающих напряжений в 1,01 – 1,47 раза, предельных относительных деформаций на 1,60 – 7,74 %, относительных остаточных деформаций – на 2,22 – 8,93 %. Лучшими оказались схемы 5, 7, 6, 2 и 4.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Армирование массива горных пород предлагаемыми пространственными анкерными системами в позволяет повысить предельные значения разрушающих напряжений, в среднем, в 2,3 раза по сравнению с традиционным радиальным расположением анкеров, предельные относительные деформации до 19,8 % , а относительные остаточные деформации – до 20,7 % (против соответственно 13,66 и 14,76 % для радиального расположения анкеров).

2. Применение пространственных схем анкерования пород позволяет улучшить и другие механические характеристики, по сравнению с наиболее распространенной радиальной схемой расположения анкеров. Так, прочность на одноосное растяжение увеличивается до 1,26 раза; прочность на одноосное сжатие – в 1,3 раза; коэффициент сцепления – в 1,2 раза; угол внутреннего трения – на 2 – 4 град., остаточную прочность – в 1,4-1,7 раза. Это позволяет сделать вывод о том, что размещение в массиве пространственной совокупности армирующих элементов изменяет его структуру и деформационные свойства, создает препятствия разрушению и дает возможность управлять формированием вокруг выработки зоны разрушенных пород.

3. Наилучшими с точки зрения полученных прочностных и деформационных характеристик оказались схемы армирования 5,6,2 и 4 . Предполагается провести более детальные исследования механизма разрушения горных пород, армированных анкерами, в условиях обобщенного растяжения.

4. Полученные предварительные данные (на основании аналитических расчетов и экспериментальных исследований) позволяют прогнозировать уменьшение размеров зоны разрушения вокруг подготовительных выработок на 25-75%.

### Библиографический список

1. **Указания** по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. – Изд. 4-е, дополненное. Л., 1986. – 222 с.

2. **КД 12.01.01.201-98.** Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. Методические указания, 1998. – 149 с.

3. **КД 12.01.01.501-98.** Система обеспечения надежного и безопасного функционирования горных выработок с анкерным креплением. Общие технические требования.

4. **СОУ-П 10.1.05411357.010.** Система обеспечения надежного и безопасного функционирования горных выработок с анкерным креплением. Общие технические требования, 2007. – 62 с.

5. **Кузнецов Г.И., Бутько М.Н., Филипова А.А., Шклярский М.Ф.** Изучение проявлений горного давления на моделях. Углетехиздат, 1959.-151с.

6. **Породы горные.** Методы определения предела прочности при одноосном сжатии : ГОСТ 21153.2-84.-Взамен ГОСТ 21153.2-75-М.: Государственный комитет СССР по стандартам: Изд-во стандартов,1984.-10с.

7. **Породы горные.** Методы определения предела прочности при одноосном растяжении.: ГОСТ 21153.3-85.-Взамен ГОСТ 21153.3-75;ГОСТ 21153.4-75 .-М.: Государственный комитет СССР по стандартам: Изд-во стандартов,1986.-14с.

8. **Породы горные.** Метод определения предела прочности при объемном сжатии: ГОСТ 21153.8-88.-М.: Государственный комитет СССР по стандартам: Изд-во стандартов,1988.-17с.