

УДК 622.281

## ВЛИЯНИЕ АНКЕРОВАНИЯ КРОВЛИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ВЫРАБОТОК В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УГЛА ЗАЛЕГАНИЯ ПОРОД И ДЛИНЫ АНКЕРА

Рудской Д. П., студент группы РПМ-16,  
Новиков А. О., д-р техн. наук, проф., науч. рук.,  
Шестопапов И. Н., канд. техн. наук, доц., науч. рук.  
(ГОУВПО «ДОННТУ», г. Донецк, ДНР)  
[aleksandr\\_novikov\\_60@mail.ru](mailto:aleksandr_novikov_60@mail.ru)

*В статье приведен анализ перспектив применения анкерной крепи на угледобывающих предприятиях Донбасса. Проанализированы причины, препятствующие широкому внедрению анкерной крепи при проведении и креплении горных выработок. Описаны результаты лабораторных исследований влияния угла залегания пород и глубины анкерования кровли на устойчивость выработок. Установлены особенности деформирования и разрушения приконтурного массива, вмещающего выработки с анкерной крепью.*

**Ключевые слова:** крепь, анкер, модель из эквивалентных материалов, приконтурный массив, зона неупругих деформаций

Одним из условий эффективной и безопасной работы при поддержании выработок на шахтах Украины является обеспечение их устойчивости при минимальном расходе крепящих материалов. Металлические арочные податливые крепи, имеющие наибольший объем применения, выполненные из тяжелых спецпрофилей, в усложняющихся горно-геологических и горно-технических условиях отработки угольных месторождений, как показывает опыт, не обеспечивают необходимой устойчивости и безремонтного поддержания выработок. Их возведение является практически не механизированным, трудоемким процессом. Высокая материалоемкость крепей снижает технико-экономические показатели и сдерживает темпы проведения выработок. За последние 15–20 лет все большее распространение на шахтах Донбасса получает анкерное крепление, повышающее устойчивость горных выработок, позволяющее увеличить

темпы ведения подготовительных работ при экономии средств на их поддержание.

Как показал опыт применения анкерной крепи на шахтах Германии, Англии, США, Австралии и др., она позволяет: в 5–10 раз уменьшить расход металлопроката, бетона, леса; в 3–5 раз повысить производительность работ при креплении выработок; в 2–3 раза повысить темпы проходки; вдвое сократить затраты на крепление и поддержание крепи в рабочем состоянии во время эксплуатации.

Однако, несмотря на определенные успехи в расширении области применения анкерного крепления на шахтах Донбасса, объемы крепления выработок этим видом крепи в настоящее время составляют не более 100 км.

Основной причиной, препятствующей широкому внедрению анкерной крепи на шахтах является не недостаточное понимание ее роли в процессе поддержания выработки, а также отсутствие нормативной базы, позволяющей с учетом конкретной геомеханической ситуации и опыта использования, обосновано принимать параметры крепления.

В настоящее время, расчет параметров анкерной крепи производится в соответствии с требованиями нормативных документов [1,2,3], 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. При этом не учитывается влияние угла залегания пород и глубины анкерования.

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 этой связи проведение исследований направленных на изучение особенностей деформирования породного массива вмещающего выработку с анкерным креплением является актуальным.

В связи с высокой сложностью и трудоемкостью проведения шахтных экспериментов в выработках с анкерным креплением, авторы вынуждены использовать лабораторные методы.

Задачами исследования являлось:

1. Оценить влияние угла залегания пород при схеме анкерования «сшивка» на устойчивость выработок с анкерным креплением.

2. Установить характер влияния глубины анкерования на особенности деформирования пород в кровле выработки.

Для решения поставленных задач использовался метод моделирования с помощью эквивалентных материалов [4].

Моделировались вмещающие выработку породы с прочностью на одноосное сжатие 40 МПа и глубина заложения выработки 800 м. Для моделирования горных пород в качестве эквивалентного материала был принят кварцевый песок с гипсовым связующим.

Для сокращения количества экспериментов использовалась методика его рационального планирования. Моделирование проводилось в масштабе 1:100.

Среднее значение прочностных показателей эквивалентного материала приведено в таблице 1, а общая характеристика моделей – в таблице 2.

Смещения вмещающих выработку пород в модели определялись с помощью метода фотофиксации. Фиксированные точки в модели представляли собой игольчатые репера (1), изготовленные из проволоки. Смещения реперов, заложенных вокруг выработки, определялись относительно базовых реперов (2), закрепленных на раме модели. Схема расположения выработки и реперов в моделях приведена на рис. 1. В кровлю выработки, после ее

проведения устанавливались, с помощью клея ПВА, анкера. Они изготавливались из круглого дерева диаметром 1 мм и длиной  $la$  в геометрическом масштабе моделирования.

Таблица 1

Прочностные характеристики материала в модели и натуре

Наименование характеристик	Единица измерения	Наименование пород
		глинистые сланцы
Прочность на одноосное сжатие:		
а) натуре	МПа	40
б) расчетное в модели	МПа	0,24
в) фактическое в модели	МПа	0,22
Прочность на растяжение:		
а) натуре	МПа	7
б) расчетное в модели	МПа	0,0288
в) фактическое в модели	МПа	0,0264
Плотность:		
а) натуре	кг/м <sup>3</sup>	2300
б) фактическое в модели	кг/м <sup>3</sup>	1500

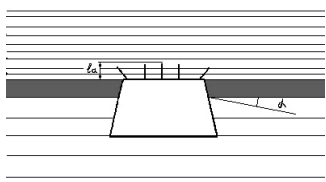
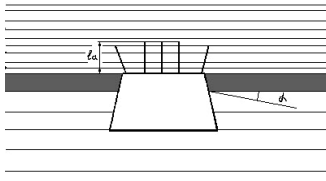
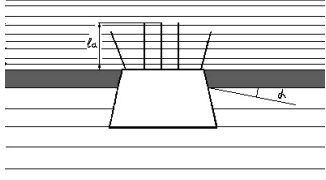
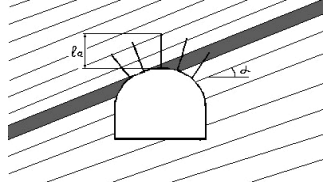
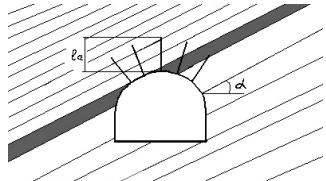
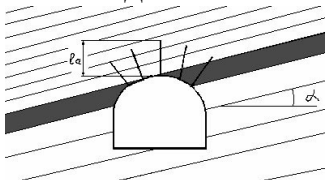
Порядок отработки моделей следующий. Перед оборудованием выработки в модели имитировалась (конечная) глубина ее заложения (800 м). Производилось фотографирование моделей в исходном состоянии (базовое фото). Модель выдерживалась при постоянном давлении дополнительного пригруза в 0,2 МПа до конца ее отработки. Потом оборудовалась выработка, производилось анкерование с последующим фотографированием.

Для определения влияния анкерования выработки и угла залегания пород на особенности деформирования массива вокруг нее, строились графики перемещений реперов  $U_k$  и диаграммы изменения коэффициента разрыхления материала модели между реперами вокруг выработки. Графики перемещений реперов  $U_k$  в кровле строились на момент окончания отработки модели.

Графики смещений глубинных реперов в кровле выработок в зависимости от глубины анкерования представлены на рисунке 2.

Таблица 2

## Общая характеристика моделей

№ Модели	Ширина выработки, $B$ , м		Высота выработки, $h$ , м		Длина анкера, $l_a$ , м	Угол залегания пород, $\alpha$ , град
	в натуре	в модели	в натуре	в модели		
Модель №1 	5	0,05	4	0,04	1	0
Модель №2 	5	0,05	4	0,04	2	0
Модель №3 	5	0,05	4	0,04	3	0
Модель №4 	5	0,05	4	0,04	3	20
Модель №5 	5	0,05	4	0,04	2	30
Модель №6 	5	0,05	4	0,04	2	10

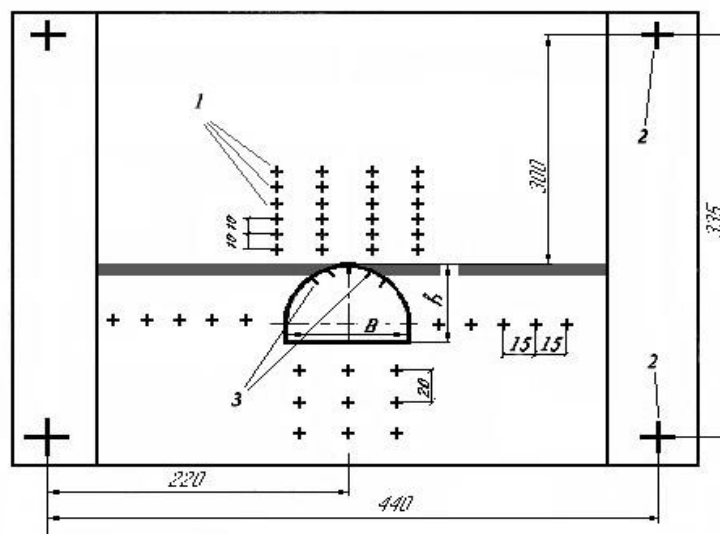


Рис. 1. Схема расположения выработки и реперов в моделях

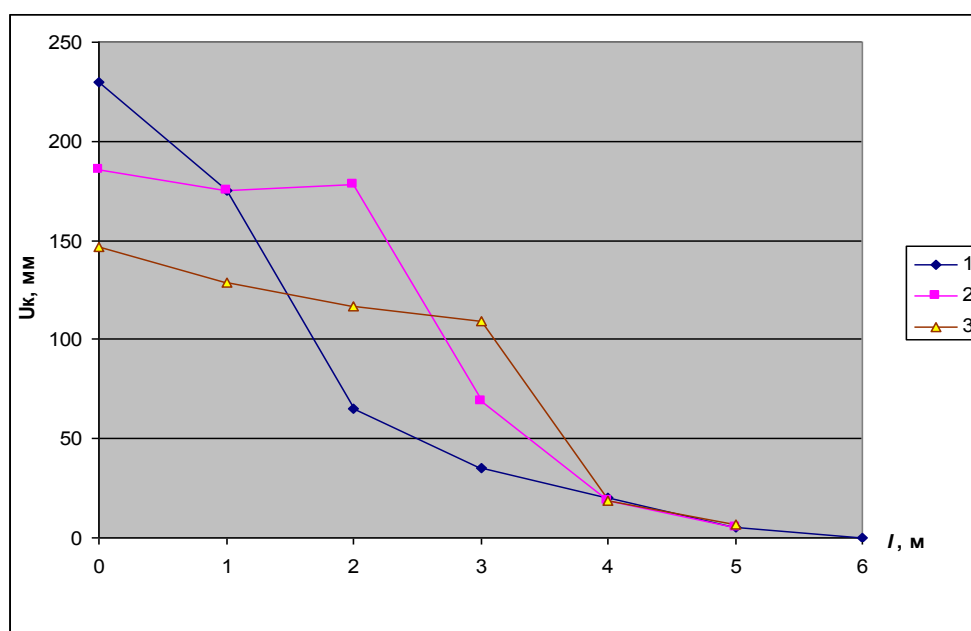


Рис. 2. Графики смещений глубинных реперов в кровле выработок в зависимости от глубины анкерования: 1 – длина анкера 1 м; 2 – длина анкера 2 м; 3 – длина анкера 3 м.

Диаграммы изменений коэффициента разрыхления материала в моделях №1–№3 между глубинными реперами в кровле выработки – на рисунке 3.

Из представленных графиков и диаграмм можно сделать следующие выводы.

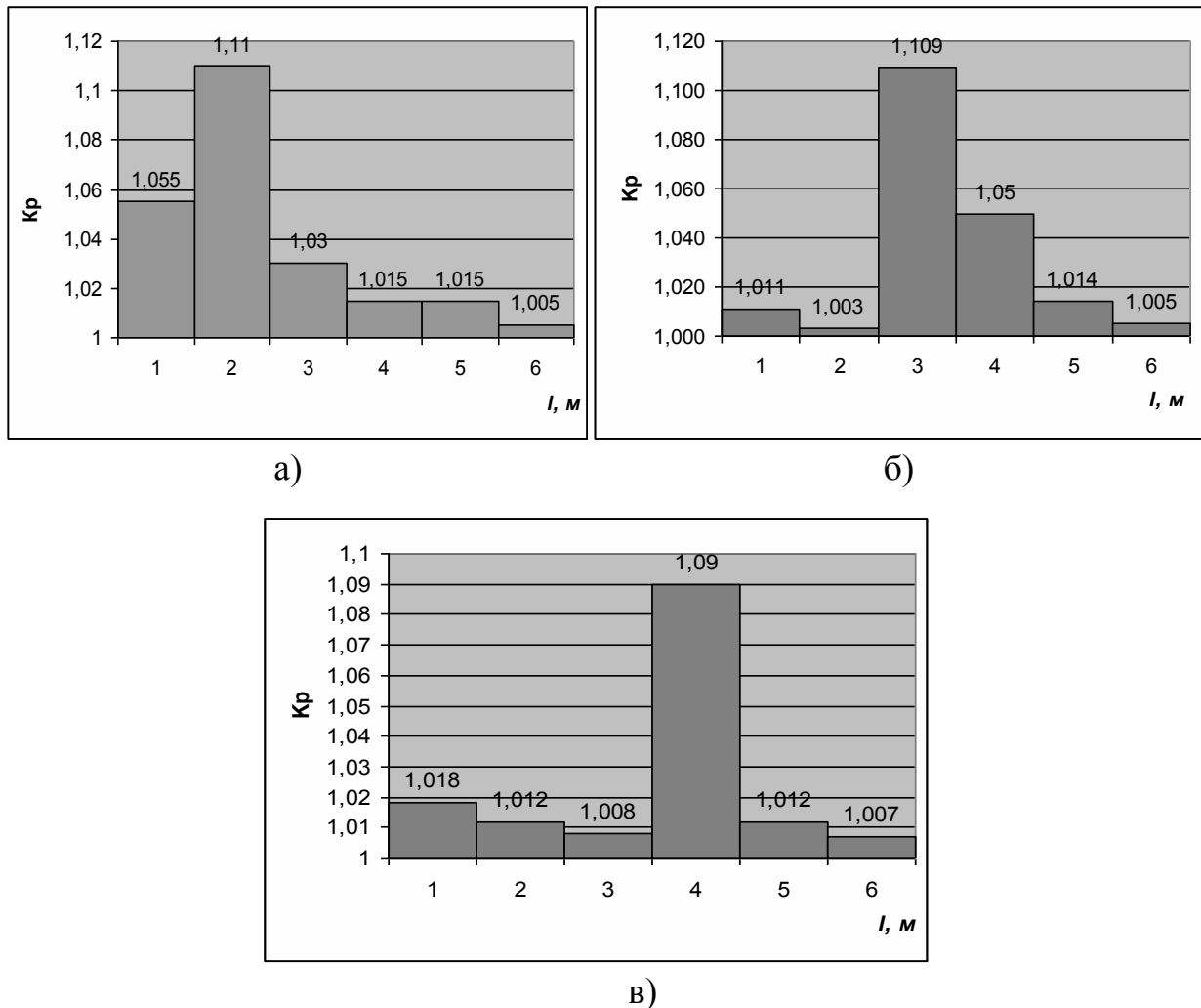


Рис. 3. Диаграмма изменения коэффициента разрыхления пород в кровле выработки между реперами: а) при глубине анкера 1 метра; б) при длине анкера 2 метра; в) при длине анкера 3 метра

1. С увеличением глубины анкерования кровли (при постоянном угле залегания пород) снижается степень нарушенности приконтурного участка массива (между контурным и первым репером в кровлю);

2. При глубине анкерования 2 метра и более заанкерванный участок массива в кровле выработки перемещается одним блоком, при этом максимальное значение коэффициента разрыхления составляет не более 1,018, что свидетельствует об отсутствии процессов разрушения в его пределах;

3. Разрушение пород в пределах заанкерванного участка в кровле установлено только при длине анкера 1 метр;

4. Разрушение пород в пределах формирующейся в кровле выработки зоны не упругих деформации наиболее интенсивно происходит за пределами заанкерванной зоны, причем степень нарушенности пород в ней уменьшается по мере увеличения глубины анкерования;

5. При увеличении глубины анкерования с 1 до 3 метров, максимальные смещения на контуре выработки в кровле, снижаются в 1,6 раза.

Графики смещений глубинных реперов в кровле выработок в зависимости от угла залегания пород представлены на рисунке 4, а диаграммы изменения коэффициента разрыхления материала модели № 1, № 4, № 5, № 6 – на рисунке 5.

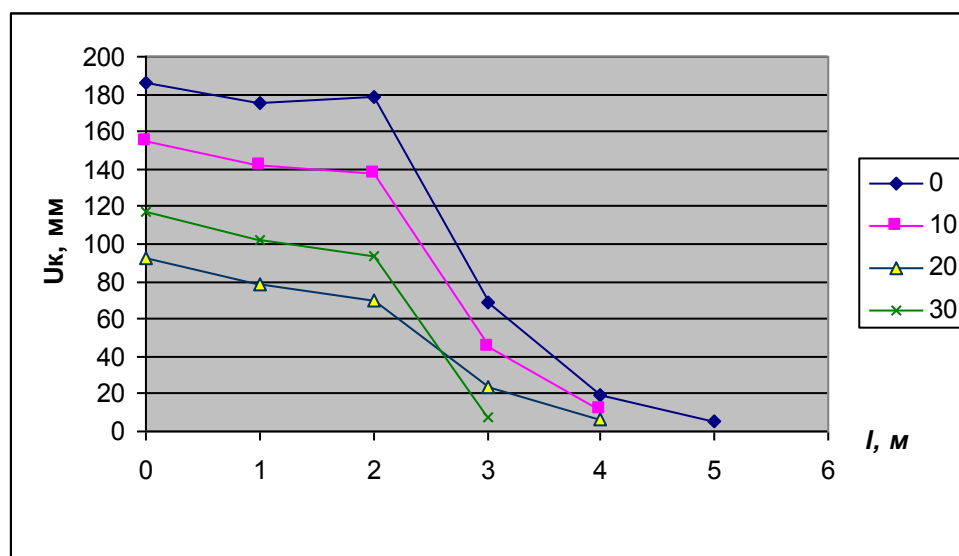


Рис. 4. Графики смещений глубинных реперов в кровле выработок в зависимости от угла залегания пород

Из представленных выше графиков и диаграмм можно сделать следующие выводы.

1. Наибольший размер зоны неупругих деформаций, формирующийся в кровле выработки с анкерным креплением, зафиксирован в модели №1 с углом залегания  $0^\circ$  градусов, он составил 5 метров при смещениях на контуре со стороны кровли 185 мм;

2. По мере увеличения угла залегания пород размер зоны неупругой деформации, формирующийся в кровле вокруг выработки с анкерным креплением, снижается с 5 до 3 метров. Уменьшается



так же величина смещений пород на контуре со стороны кровли выработки с 185 мм до 117 мм;

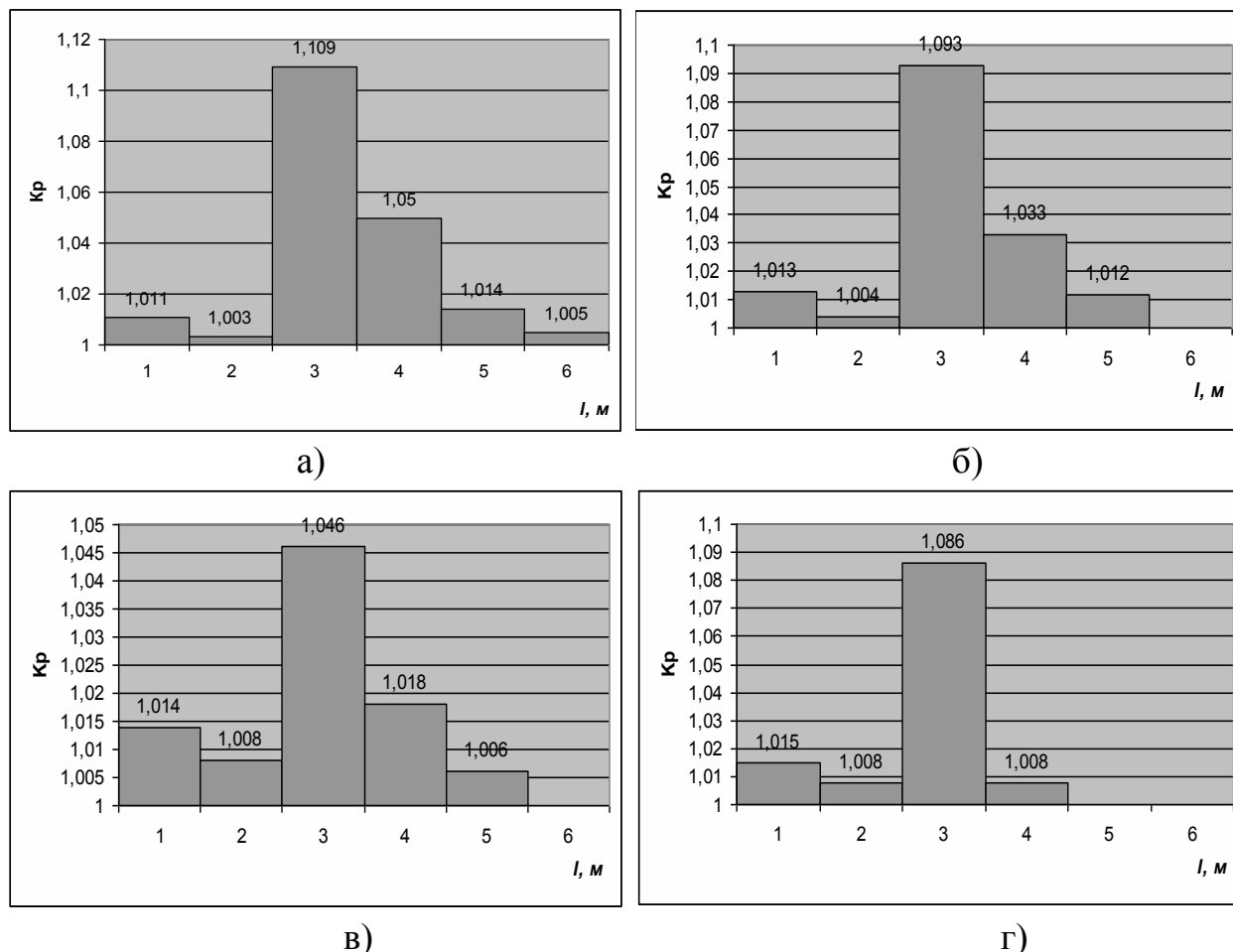


Рис. 5. Диаграмма изменения коэффициента разрыхления пород в кровле выработки между реперами при угле залегания пород: а) 0 градусов; б) 10 градусов; в) 20 градусов; г) 30 градусов

3. Независимо от угла залегания, породы кровли в пределах заанкерванной части массива, перемещаются в сторону выработки без существенных расслоений (коэффициент разрыхления не более 1,015) одним блоком не разрушаясь;

4. Интенсивные разрушения пород происходят за пределами заанкерванной части массива в кровле, на глубине более 2-х метров;

5. Степень нарушенности пород за пределами заанкерванной области в кровле по мере удаления от нее вглубь массива убывает при увеличении угла залегания пород (так например, для участка между 2 и 3 репером при  $\alpha=0^\circ$  от 1,109, до 1,086 при  $\alpha=30^\circ$ );

6. В пределах участка ЗНД в кровлю от 3 до 4 репера коэффициент разрыхления пород при увеличении угла залегания от  $0^\circ$  до  $30^\circ$  снижается от 1,05 до 1.

Состояние выработки в моделях к моменту начала и по окончании отработки модели показано на рисунке 6.

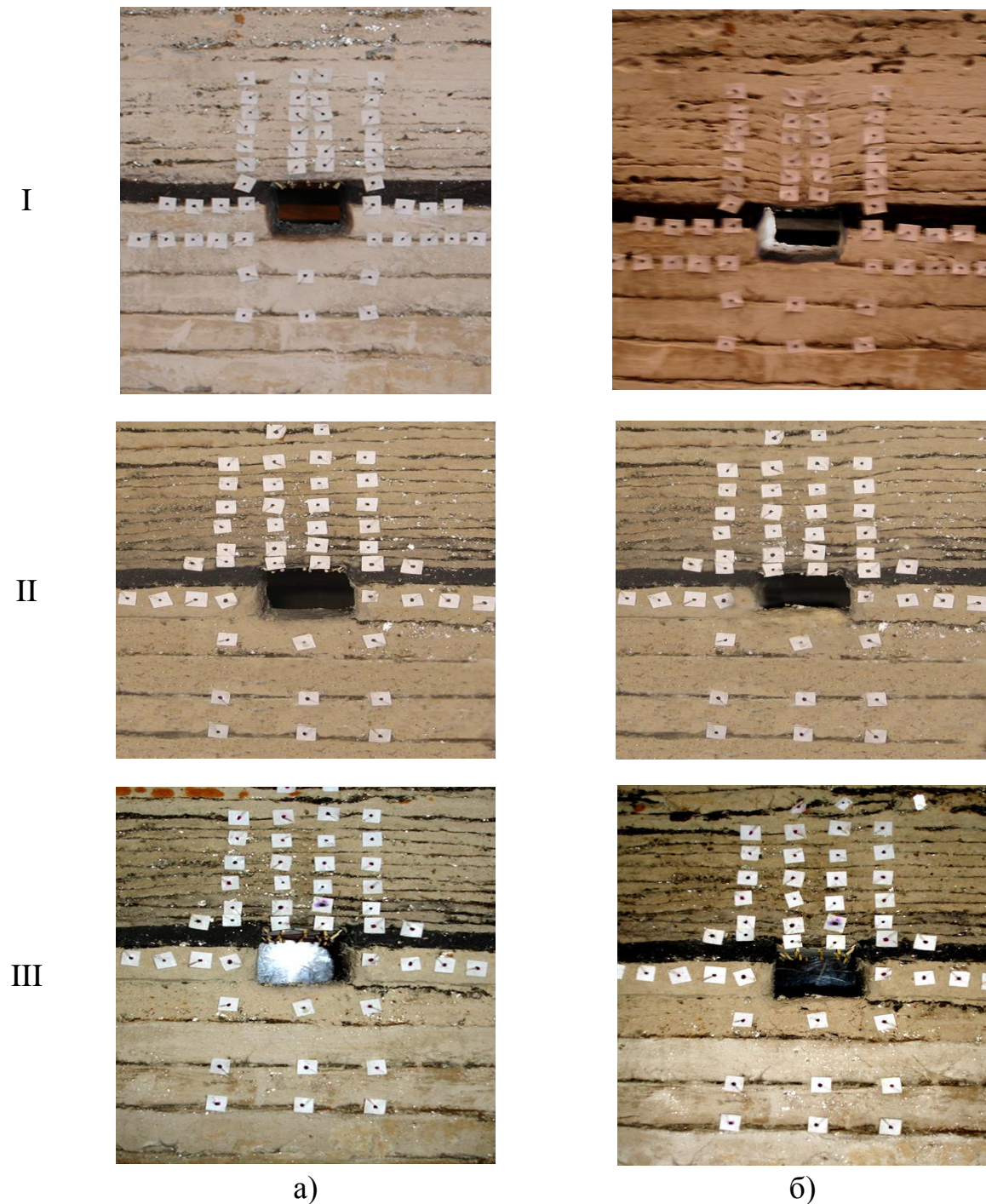


Рис. 6. Состояние выработки в моделях (а – исходная модель; б – отработанная модель): I – модель №1; II – модель №2; III – модель №3

Проведенные лабораторные исследования на моделях из эквивалентных материалов влияния угла залегания пород и глубины анкерования на устойчивость выработок с анкерным креплением позволили установить следующее:

1. При увеличении глубины анкерования с 1 до 3 метров (при постоянной плотности анкерования 1 анкер/м<sup>2</sup>) смещение контура выработки в кровле уменьшается в 1,6 раза.

2. Увеличение угла залегания пород от 0 до 30 градусов (при постоянной плотности анкерования 1 анкер/м<sup>2</sup> и длине анкеров  $la = 2$  м) приводит к уменьшению смещений на контуре выработки со стороны кровли в 1,5 раза.

3. Увеличение глубины анкерования приводит к снижению коэффициента разрыхления пород кровли на участке между контурным и первым репером в 1,1 раза. При этом область основных разрушений пород удаляется от контура выработки в кровле на глубину анкерования и деформации затухают по мере удаления от выработки. Заанкерованная толща пород смещается в сторону выработки единым блоком с относительными деформациями в его пределах до 1,8 %.

4. При глубине анкерования 1 м установлено разрушение пород на участке между контурным и первым репером в кровле (относительные деформации составляют 5,5 %), что свидетельствует о недостаточности длины анкера в 1 метр при анкерование пород выработки пройденной в породах с прочностью 40 МПа в натуре при глубине заложения 800 метров.

5. При увеличении угла залегания пород от 0 до 30 градусов и постоянной длине анкерования 2 м и плотности анкерования 1 анк/м<sup>2</sup> происходит уменьшение размера зоны неупругих деформаций, формирующиеся в кровле выработки в 1,3 раза.

### Библиографический список

1. СОУ 10.1.00185790.011: 2006. Подготовительные выработки на пологих пластах. Выбор крепления, способов и средств охраны / Мінпаливенерго України. – Київ, 2006.

2. Система забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Загальні технічні вимоги : СОУ 10.1.05411357.010:2014

3. Ардашев, К. А. Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах России [Текст] / К. А. Ардашев, В. Б. Артемьев, В. А. Базиковец. – СПб, 2002. – 70 с.

4. Кузнецов, Г. Н. Моделирование проявлений горного давления [Текст] / Г. Н. Кузнецов, М. Н. Будько, Ю. И. Васильев, М. Ф. Шклярковский, Г. Г. Юревич – М.: Недра, 1968. – 278 с.

**Rudskoy D. P., Novikov A. O., Shestopalov I. N.**

(SEI НРЕ «Donetsk national technical university», Donetsk, DPR)

**THE EFFECT OF AN ANCHORING OF THE ROOF ON THE STABILITY OF DEVELOPMENTS DEPENDING ON THE ANGLE OF BREEDING BREEDS AND THE LENGTH OF ANCHOR**

*The article provides an analysis of the prospects for the use of anchor lining at mining enterprises of Donbass. Analyzed the reasons preventing the widespread introduction of anchor lining during the holding and fastening of mine workings. The results of laboratory studies of the influence of the angle of occurrence of rocks and the depth of the anchoring of the roof on the stability of the workings are described. The features of the deformation and destruction of the marginal array that encloses the workings with anchor bolts are established.*

**Keywords:** lining, anchor, the model from equivalent materials, massive adjacent to the contour, inelastic deformation zone