

УДК 622.28.044

**ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ МЕСТА  
РАСПОЛОЖЕНИЯ АНКЕРОВ В ПОЧВЕ ВЫРАБОТКИ  
НА ЕЕ УСТОЙЧИВОСТЬ**

**проф., д.т.н. Касьян Н.Н., доц., к.т.н. Сахно И.Г. (ДонНТУ)**

*У статті розглянуто питання про раціональне місце розташування анкерів при укріпленні підосви гірничої виробки, що складена шаруватими породами.*

**LABORATORY RESEARCHES OF INFLUENCING OF PLACE  
OF LOCATION OF ANCHORS IN SOIL OF MAKING ON ITS STABILITY**

**prof., d.t.n. Kasyan N.N., dots., k.t.n. Sahno I.G. (DonNTU)**

*In article the question about a rational installation site road bolting is considered at fastening ground of the roadway consist from layered rocks.*

Одним из наиболее распространенных проявлений горного давления в подземных выработках угольных шахт является пучение пород почвы. Около 70% выработок, требующих ремонта, подвержено этому явлению. Пучение наблюдается на всех этапах существования выработки и происходит с различной интенсивностью.

Особенностью этого сложного процесса является то, что его природа зависит от горно-геологических условий, в которых он происходит. Именно поэтому, до сих пор нет единой теории, описывающей и объясняющей в полной мере процесс пучения. Причинами, вызывающими пучение, в основном называют: набухание пород, переход пород в пластическое (и вязкопластическое) состояние, ползучесть пород, разрушение и выдавливание разрушенных пород, а также сочетания этих факторов. Однако основным фактором, вызывающим пучение пород, несомненно, является изменение поля напряжений вокруг горной выработки.

Отличие механизма пучения в разных условиях требует применения различных способов борьбы с этим явлением. На наш взгляд для условий Донбасса наиболее близко подходит представление о механизме пучения высказанное А.А. Пирским и С.Н. Стовпником [1]. На основании шахтных инструментальных наблюдений авторы установили, что деформирование пород почвы сопровождается складкообразованием с неравномерным разрыхлением пород. Гипотезу складкообразования также поддерживают Ю.А. Петренко, Н.Н. Касьян [2], Л.В. Пихконен [3].

Разработано большое количество способов борьбы с пучением, однако до сих пор они не нашли широкого применения. Наибольшее распространение на угольных шахтах, несмотря на высокую трудоемкость работ, и материальные затраты получила подрывка пород почвы. Также в качестве способов борьбы с пучением применяются замкнутые крепи, реже способы, основанные на разгрузке пород (взрывошелевая разгрузка, АРПУ и т.п.), а также механические способы (анкерное крепление, упрочнение, цементация и т.д.).

Применение замкнутых крепей обоснованно для капитальных выработок, способы, основанные на разгрузке пород весьма эффективны, однако требуют наличия развитой материально-технической базы. Основным фактором, сдерживающим применение механических способов, также является их высокая материалоемкость. Однако, именно механические способы предотвращения пучения могут стать альтернативой практически повсеместно применяемой подрывке пород почвы.

Анкерное крепление выработок в последнее время находит все более широкое применение на шахтах Украины, однако повсеместное его применение сдерживается отсутствием четких рекомендаций и нормативной документации, что объясняется большим количеством нерешенных вопросов в области анкерной крепи. Одним из таких вопросов является обоснование параметров крепления почвы выработки анкерной крепью.

Проведенный обзор литературы [4, 5, 6], посвященный конструкциям и способам закрепления анкеров позволяет сделать вывод, что в настоящее время наибольшее распространение получили армополимерные анкеры, благодаря их высокой несущей способности, простоте конструкции и высокой скорости возведения. Эти анкеры успешно применяются в основном для крепления кровли выработок.

Однако, на наш взгляд, существуют преждевременно забытые конструкции анкеров как, например, винтовые анкеры. В случае крепления кровли выработки они, несомненно, уступают армополимерным анкерам ввиду более низкой сопротивляемости деформированию, однако эти анкеры вполне подходят для крепления почвы и боков выработки, особенно при работе их по схеме «сшивка», что имеет место при креплении слоистых пород средней крепости.

Несмотря на большой объем проведенных исследований, в области анкерного крепления, в настоящее время очень мало работ, посвященных выбору места установки анкеров в сечении выработки. После расчета необходимой плотности установки анкеров, распределение их в сечении выработки происходит, как правило, с позиций равномерного размещения по площади анкерования. Такой принцип соблюдается как для крепления кровли, так и почвы выработки.

Согласно изложенному выше принципу, при креплении почвы выработки двумя анкерами в ряду, логичным, было бы деление почвы выработки геометрически на три части и установка анкеров с шагом  $B/3$  (м), при этом анкеры устанавливались бы на расстоянии  $0,166B$  от оси выработки.

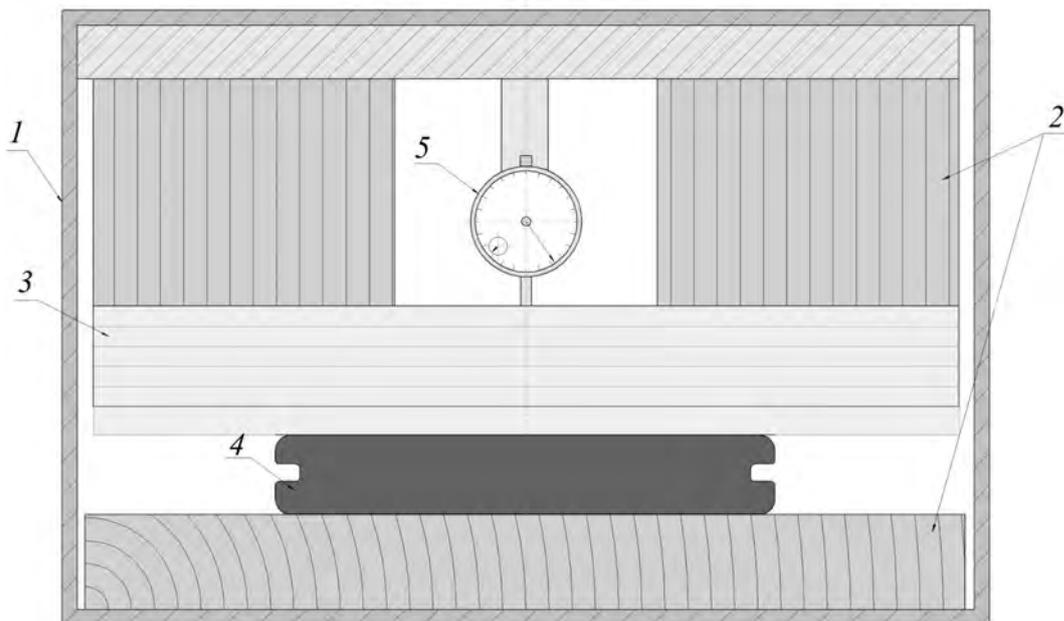
Существующий подход, на наш взгляд, имеет определенные недостатки, связанные с тем, что не учитывается эффект локального ослабления пород анкерами. При бурении шпуров под анкерные стержни происходит изменение поля напряжений вокруг шпура, что приводит к развитию вокруг него зоны неупругих деформаций и зоны разрушения. Дальнейшая установка анкеров и их закрепление не позволяют вернуть сплошность пород в исходное состояние. Ряды анкерных стержней, являющиеся, по сути, искусственными

дефектами в породах, образуют линии ослабления. Дальнейшие деформации в породах, в частности изгиб слоев, вызывают концентрации напряжений вокруг анкеров, модуль упругости которых на два порядка выше, чем в породах, что способствует локальному разрушению пород.

С целью исследования этого эффекта авторами было проведено структурное моделирование. В качестве материала для изготовления моделей использовался гипс. Подбор состава материала модели осуществлялся в соответствии с [7].

При моделировании соблюдались следующие критерии подобия: геометрическое подобие, подобие механических характеристик, силовое подобие. Был выбран масштаб моделирования 1:30. Моделировался участок почвы выработки шириной 5,1 м, сложенный слоистыми породами, общей мощностью 1,95 м. Моделируемый участок был представлен пятью слоями одинаковой мощности. Длина участка 15,3 м.

Для моделирования использовался плоский стенд, который представлял собой жесткую рамную конструкцию (1) размерами 600x400x100 мм из швеллеров №8. На основание стенда устанавливались отрезки ДСП (2), моделирующие бока выработки. На эти отрезки укладывался пакет слоев (3), имитирующих породы почвы выработки. Слои скрепляли шурупами, которые имитировали винтовую анкерную крепь. Нагрузку модели производилось при помощи пневмобаллонной крепи (4), нагрузка прилагалась распределенно по площади. Деформации измерялись при помощи индикатора часового типа (5), устанавливаемого в середине моделируемого пролета почвы выработки. Схема нагружения приведена на рис. 1.



**Рис. 1.** Схема нагружения моделей

Проверка прочности моделируемого материала проводилась по стандартной методике (ГОСТ 8462-85) на образцах кубической формы 70×70×70 мм. Исследования показали, что материал модели имеет прочность на одноосное сжатие 1,2 МПа, что соответствует прочности в натуре 45,1 МПа, что вполне удовлетворяет задачи исследования.

Согласно поставленной задаче исследовалось влияние места расположения анкеров по ширине почвы выработки на ее устойчивость. Таким образом, плотность анкерования во всех моделях была постоянной, изменялось только расстояние между анкерами в ряду. Было принято решение проводить моделирование с плотностью анкерования 0,5 анк/м<sup>2</sup>. При этом в каждом ряду устанавливалось по 2 анкера.

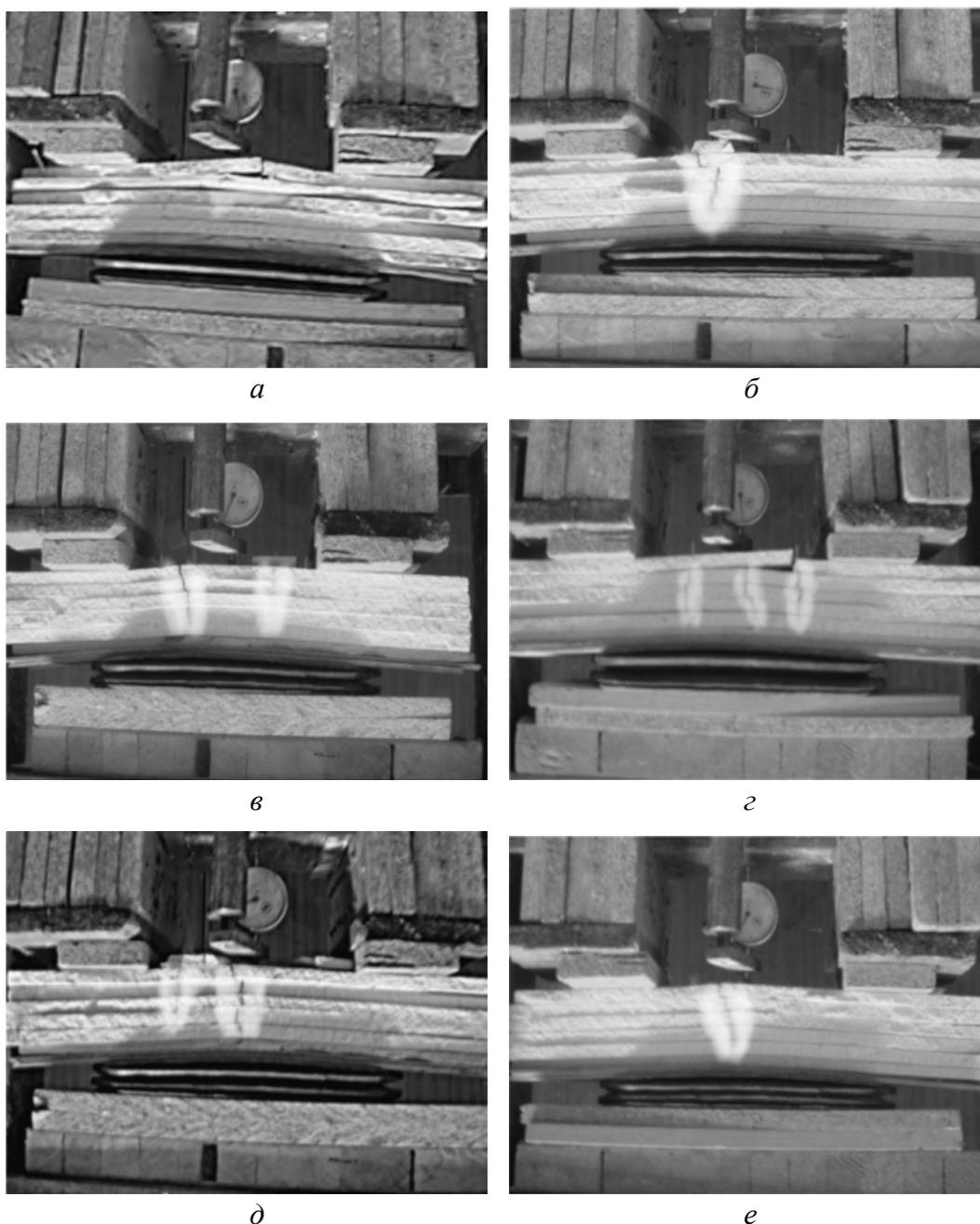
При моделировании исследовались случаи расположения анкеров на расстоянии (0,17–0,411)В от оси выработки. Максимальный предел был выбран из соображений удобства бурения и установки анкеров.

В процессе отработки моделей было замечено, что разрушение моделей происходило по-разному в зависимости от места установки анкерных стержней. Разрушение моделей происходило по линиям, образуемым рядами анкеров, что свидетельствует о том, что анкеры являются элементами ослабления, и наблюдался эффект локального ослабления слоистого массива анкерами. Отличие в характере разрушения моделей с различным расстоянием между анкерами хорошо видно на фото (рис. 2).

Разрушение в моделях с анкерами происходит не в месте наибольшего прогиба – посередине пролета, как это видно для незакрепленных слоев, а по рядам анкеров. Разрушение посередине пролета, наряду с разрушением по анкерам, наблюдается для случая установки анкеров на расстоянии от оси выработки 0,411В. Это подтверждает верность сделанных предположений об ослаблении слоистого массива анкерами.

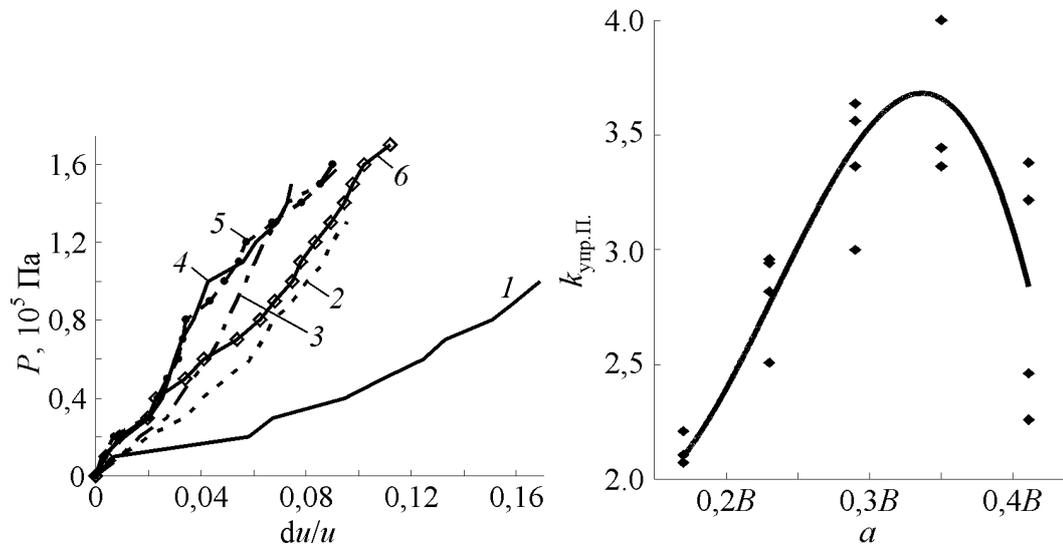
Было замечено, что деформирование происходит в два этапа: на первом в основном работает материал модели, относительные деформации при этом составляют  $du/u = 0,008–0,009$  (до момента первого разрушения), на втором вступают в работу анкеры. Первичное разрушение всех моделей происходило при одинаковых относительных деформациях, но при различной нагрузке. Дальнейшее деформирование для всех случаев происходило по-разному. Было замечено, что увеличение расстояния между анкерами в ряду приводит к уменьшению смещений при одинаковых нагрузках. Такая тенденция наблюдается для случаев установки анкеров на расстоянии  $a = (0,17–0,35)В$  от оси выработки, дальнейшее увеличение расстояния между анкерами привело к увеличению смещений. Это позволяет сделать вывод, что по ширине выработки существует определенная область, при установке анкеров в которую наблюдается максимальная эффективность анкерования. Графики «нагрузка-деформация» приведены на рис. 3.

Построим линию регрессии для коэффициента упрочнения Панека при установке анкеров на различном расстоянии  $a$  от оси выработки, и при различных нагрузках рис. 4.



**Рис. 2.** Разрушение моделей при различном месте установки анкеров: *a* – модель без анкеров, *б* – анкера установлены на  $0,17B$  от оси выработки, *в* – анкера установлены на  $0,23B$  от оси выработки, *г* – анкера установлены на  $0,29B$  от оси выработки, *д* – анкера установлены на  $0,35B$  от оси выработки, *е* – анкера установлены на  $0,411B$  от оси выработки

Количественная оценка несущей способности заанкерированных пород производится путем сравнения ее с несущей способностью незаанкерированных пород в идентичных условиях путем так называемого показателя упрочнения, введенного Л. Панеком, который численно равен отношению максимальных прогибов незакрепленной и закрепленной анкерами толщи [4].



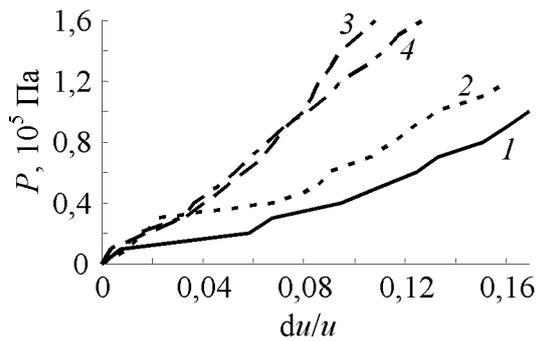
**Рис. 3.** Графики зависимости относительных деформаций слоистого массива от нагрузки: 1 – модель без анкеров, 2 – анкера установлены на  $0,17B$  от оси выработки, 3 – анкера установлены на  $0,23B$  от оси выработки, 4 – анкера установлены на  $0,29B$  от оси выработки, 5 – анкера установлены на  $0,35B$  от оси выработки, 6 – анкера установлены на  $0,411B$  от оси выработки

**Рис. 4.** Линия регрессии коэффициента упрочнения Панека  $k_{\text{урп.П}}$  при установке анкеров на расстоянии  $a$  от оси выработки.

Из рисунка 4 видно, что максимальный коэффициент упрочнения наблюдается для случая установки анкеров на расстоянии  $0,35B$  от оси выработки и составляет в среднем  $3,7$ , минимальный – для случая установки анкеров на расстоянии  $0,17B$  и составляет  $2,07$ . Дальнейшее уменьшение расстояния установки анкеров от оси выработки приводит к уменьшению коэффициента упрочнения. С другой стороны увеличение расстояния установки анкеров от оси выработки свыше  $0,35B$  приводит к уменьшению коэффициента упрочнения. Таким образом, установка анкеров на расстоянии  $0,25-0,35B$  от оси выработки обладает максимальной эффективностью.

Одним из наиболее эффективных способов уменьшения ослабления массива анкерами, является установка последних в шахматном порядке. При этом соседние ряды анкеров смещены друг относительно друга на определенную величину. Для установления особенностей работы анкерной крепи по предотвращению смещений в слоистом массиве пород был проведен второй этап моделирования, на котором установка анкерных стержней производилась в шахматном порядке. Графики «нагрузка-деформация» для этого случая приведены на рис. 5.

Из рисунка видно, что наибольший эффект анкерования достигается когда оба анкера установлены в области  $0,23-0,35B$  от оси выработки. Чем ближе к этой области установлены анкера, тем выше эффект анкерования и меньше смещения укрепляемого слоистого массива. Проведенный эксперимент также подтверждает верность сделанных предположений и выводов.



**Рис. 5.** Графики зависимости относительных деформаций слоистого массива от нагрузки при установке анкеров в шахматном порядке: 1 – модель без анкеров, 2 – анкера установлены в области 0,12–0,23В от оси выработки, 3 – анкера установлены в области 0,23–0,35В от оси выработки, 4 – анкера установлены в области 0,29–0,411В от оси выработки

Несомненно этот результат не является абсолютным и точным для всех горно-геологических условий, и рациональная область установки анкеров может изменяться в зависимости от типа анкера, его диаметра, времени установки, однако проведенные эксперименты доказывают, что выбор места установки анкеров в сечении выработки необходимо проводить не только на основе равномерного размещения анкеров в сечении, но учитывать также и эффект локального ослабления пород анкерами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пирский А.А., Стовпник С.Н. Шахтные исследования пучения почвы в выработках Западного Донбасса // Уголь Украины. – 1989. – №11. – С. 2–3.
2. Шевцов В.А., Литвинов В.И., Касьян Н.Н., Петренко Ю.А., Захаренко А.В. Опыт повышения устойчивости пород почвы горных выработок на шахте Трудовская ГХК «Донуголь» // Геотехнологии на рубеже XXI века. – Т. 2. – Донецк: ДОНУГПО. – 2001. С. 6–8.
3. Пихконен Л.В. Обоснование параметров взрывоцелевой разгрузки почвы повторно–используемых подготовительных выработок глубоких шахт: Автореф. дисс... докт. техн. наук: 05.15.02. / МГГУ. м. – 1994. – 36 с.
4. Широков А.П. Теория и практика применения анкерной крепи. М.: Недра, 1981. – 391 с.
5. Широков А.П. Классификация анкерных крепей // Уголь Украины. – 1976. – №12. – С.4–6.
6. Анкерная крепь: Справочник / Широков А.П., Лидер В.А., Дзауров М.А., Рыжковский М.Е., Петров А.И. – М.: Недра, 1990. – 205 с.
7. Глушихин Ф.П., Злотников М.С. Эквивалентные материалы для моделирования горного давления / ЦНИЭИуголь. – М., 1978. – 34 с.