

УДК 624.131.438

А.В. Корчак, А.И. Мороз

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ АКТИВНОЙ АНКЕРНОЙ
КРЕПИ КРОВЛИ ВЫРАБОТКИ В РАЗДЕЛЬНО
ЗЕРНИСТОЙ ПОРОДЕ**

Результаты модельных испытаний кровли выработки, предварительно напряженной системой анкеров, показали, что предварительное напряжение массива песка натяжением анкеров до выемки породы обеспечивает большую устойчивость кровли по сравнению с ее подвешиванием на системе анкеров без предварительного их натяжения.

Ключевые слова: модель кровли выработки, лоток, предварительное напряжение массива песка, анкера, динамика усилий, опускание кровли, активные способы крепления, устойчивость.

Освоение подземного пространства, являющееся техногенным воздействием на породный массив, продолжает сталкиваться с различными проблемами. Одной из них остается недостаточная полнота и достоверность описания напряженно-деформированного состояния (НДС) массива при проходке выработка [1], в том числе, склонного к образованию самонапряженного состояния [2, 3], характеризуемого наличием остаточных напряжений.

Как показали результаты исследований, остаточные напряжения, свидетельствующие не о полной реализации энергии упругих деформаций при снятии внешних нагрузок (разгрузки), представляют собой потенциальный источник снижения ресурса прочности массива. Показателями остаточных напряжений является проявляющиеся и поддающиеся регистрации сигналы в виде образования дефектов, деформаций последствием и др. [3, 4 и др.]. Возникающие дефекты приводят к тому, что порода начинает терять прочность во време-

ни, в результате происходит изменение механических свойств породы.

С другой стороны, такое сопротивление снижению прочности при разгрузке позволяет рассматривать породу как среду, обладающую ограниченным во времени резервом несущей способности, что дает возможность использовать эти резервы для обеспечения устойчивости выработки.

И, если сопротивление снижению прочности осадочных сцементированных пород может продолжаться несколько месяцев, то в раздельно зернистой породе разрушение сформировавшейся структуры происходит непосредственно в процессе разгрузки, причем наиболее интенсивно на последней ее стадии [4, 5]. Поэтому эффективным средством уменьшения влияния проходки на снижение несущей способности области массива, примыкающей к контуру выработки, являются мероприятия, не допускающие полной разгрузки породы [4...6], например, с помощью активных способов крепления: распора, обжатия

слоя породы, примыкающего к контуру выработки и др., направленных на искусственную “помощь” породе в сохранении природной структуры. Под активными способами понимаются технические мероприятия, выполняемые до начала, в процессе или после техногенного воздействия по сохранению или улучшению существовавшего до начала этого воздействия сформировавшегося НДС массива, или, по крайней мере, минимизации его изменения [4...6].

Одним из способов, который можно отнести к активным, является применение силового пригруза, например, с помощью повышенного давления воздуха на породу по аналогии с методом кессона, применяемого при проходке в сильно обводненных грунтах для отжатия воды из забоя. При разгрузке в первую очередь реализуются упругие деформации, и от величины пригруза зависит граница между величиной упругих и пластических деформаций. Вместе с тем, повышенное давление воздуха, действуя на породу, например, через установленный экран, создаст силовой пригруз на ее скелет, что увеличит силы трения и будет препятствовать образованию потенциальных поверхностей скольжения в массиве. Поэтому и в относительно сухих породах проходка под кессоном явится фактором, обеспечивающим устойчивость выработки. При избыточном давлении величиной в 1 атм. поддержка для породы на каждый квадратный метр составит 0,1МН.

В условиях плотной городской застройки необходимо обеспечивать сохранность существующих объектов в зоне влияния любых выработок, в том числе, шахт круглого очертания. Традиционным способом крепления таких шахт является установка металлических колец, забивка марчеван,

поярусная разработка породы. Вместе с тем, если до разработки породы выполнить распор крепления в грунт в тангенциальном направлении, например, с помощью домкратов, то такой способ может быть отнесен к активным, поскольку позволит сохранить начальное состояние массива. Отличие его от традиционных способов заключается в том, что домкратами распираются сами металлические кольца за счет радиального давления крепи на вмещающий породный массив.

Среди перспективных способов в некоторых случаях может стать забивка металлических нагелей с опорными шайбами в резиновые вкладыши, установленные в шпуре, которая создаст равномерный упругий распор давление на примыкающий к выработке слой породы. При этом снимается несколько вопросов, возникающих при традиционной установке анкеров. Первое – не требуется оборудование для натяжения анкеров, а также отпадает необходимость определять усилие в анкерах, которое со временем в некоторых случаях, например, в нескальных породах, снижается. Второе – исключается устройство замка анкера. Третье – создается распор в горизонтальном и вертикальном направлениях, который поддается расчету. Вместе с тем, нагельное крепление проявляется только при смещении массива, поскольку оно “работает” за счет сил трения.

Однако наиболее эффективным мероприятием является искусственное наложение силового поля, например, с помощью анкеров, на НДС массива до разработки породы, предотвращающего смещение контура выработки. Такое ограничение перемещения может создать активное натяжение анкеров, которое позволяет им вступить в работу до начала де

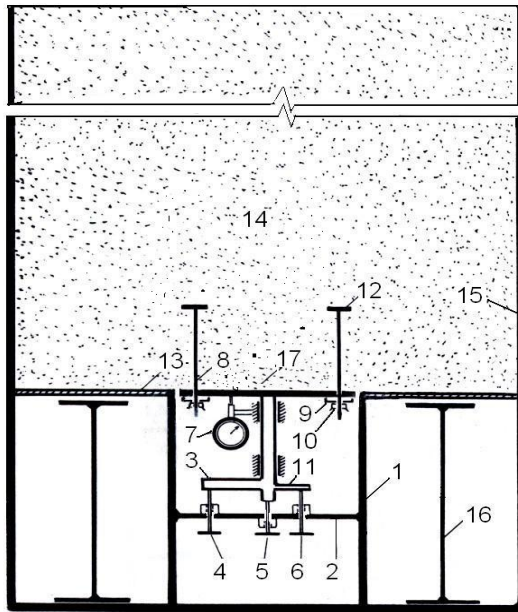


Рис. 1. Схема установки в собранном виде для проведения опыта по мониторингу усилий в анкерах и на кровлю выработки: 1, 15 – стенки лотка; 2 – промежуточная горизонтальная опора; 3, 11 – измерительные кронштейны; 4, 6 – регулировочные винты; 5 – опорный винт; 7 – индикатор; 8 – анкер; 9 – измерительное устройство в анкере; 10 – натяжной элемент анкера; 12 – замок анкера; 13 – днище лотка в уровне моделируемой кровли; 14 – породный массив; 16 – крепеж дна лотка; 17 – металлическая плита кровли выработки

формаций массива, что увеличит не только нормальные, но и касательные напряжения, повышающие сопротивление силам трения при смещениях, известное из курсов горного дела, например, из учебника С.С. Давыдова [7].

Предельным показательным примером, иллюстрирующим данное положение, являются результаты опытов по созданию в сухой раздельно зернистой среде с отсутствием сцепления ($C=0$) - песке из Люберецкого карьера искусственной грузонесущей конструкции с повышенными прочностными свойствами по сравнению со свойствами породного массива в

кровле выработки. Такой конструкцией являлась область массива в пределах свода обрушения, стянутая анкерами до разработки породы. В действительности, условия на практике являются более благоприятными, как правило, имеющиеся у горных пород сцепление ($C>0$) явится фактором повышения несущей способности породного массива.

Исследования проводили на модельной установке, имитирующей выработку в сухом песке. На рис.1 представлена схема конструкции лотка для проведения опытов по эффективности закрепления плоской кровли выработки анкерами, которую определяли с помощью мониторинга усилий в анкерах и кровле.

Сборка модели включала размещение анкеров в потенциальном своде обрушения по углам кровли будущей выработки, засыпку песка, установку нуля на измерительных кронштейнах. При проведении экспериментов собранная установка обеспечивала поступательное беспрепятственное перемещение модели кровли выработки по вертикали в направляющих из латунных втулок, закрепленных неподвижно. Зазоры между кровлей и боковыми стенками были закрыты уплотнителями из тонкого фетра, соединенными жестко винтами с кровлей.

Для определения давления грунта на кровлю использовались расположенные в нижней части штока измерительные кронштейны, тензометрическое оснащение которых и измери-

тельных балочек под натяжными элементами анкеров давало возможность выполнить дискретный и континуальный мониторинг усилий в измерительном кронштейне и анкерах. Предварительно выполнялось тестовое испытание всех измерительных элементов с получением масштабов расшифровки, следовательно, возможность комплексного наблюдения динамики усилий в анкерах во всех измерительных каналах в функции линейных перемещений по вертикали модели кровли. Исследовались различные схемы расположения анкеров, параметры крепления, а также последовательности включения их в работу. Запись изменения усилий в анкерах выполненных опытов осуществлялась с помощью осциллографа. На рис. 2 приведена динамика усилий, зарегистрированных в одном эксперименте. Толстой линией показано зарегистрированное изменение усилия в кронштейне, действующее на кровлю выработки

Запись 1 демонстрирует нулевые значения тарировочных зависимостей. Запись 2 отражает натяжение анкеров и нагрузку на кровлю, которая составляет 540Н. Далее выключается из работы центральный винт 5 (запись 3), при этом происходит увеличение нагрузки на кровлю до 600Н. На следующем этапе производится выключение из работы бокового кронштейна за счет отвинчивания винта 4. Этот процесс регистрирует запись 4: усилие на кровлю начинает постепенно уменьшаться до нулевого значения, что приводит к опусканию кровли на 0, 02 см, а также - к снижению усилий в анкерах примерно на 40%. Таким образом, опыт обнаружил принципиальную возможность закрепления кровли выработки в раздельно зернистой породе. При трактовке результатов эксперимента сле-

дует отметить, что при опускании плиты произошло смещение замков анкеров и разрыхление раньше сжатой анкерами области породы, что привело к изменению НДС надкровельной области массива.

Повторное возвращение винта 4 до упора с измерительным кронштейном (запись 5) привело к тому, усилия в анкерах уменьшились до нуля, что вызвало увеличение давления песка на кровлю до 110Н. Далее производили натяжение гаек 10 до упора с измерительными балками 9, после чего ослаблением винта 4 производили опускание кровли до полного выключения из работы измерительного кронштейна (запись 6). Выключение из работы анкеров приводит к увеличению нагрузки на кровлю (запись 7).

Для сравнения были выполнены опыты, при которых сначала моделировалось смещение кровли выработки, после чего производили натяжение анкеров. При небольшом смещении (0,01 см) для закрепления кровли выработки длину анкеров необходимо было увеличить на 25-30%. Анализ результатов исследования показал, что повторное натяжение анкеров оказывается менее эффективным, чем закрепление не разрушенной начальной структуры геоматериала. Для обеспечения устойчивости кровли необходима длина анкеров, превышающая высоту свода обрушения.

Данные из практики о том, при закреплении тонкослойных песчаников в горной выработке шахты Кузбасса анкерами длиной меньше высоты свода естественного равновесия или при несвоевременной установке анкерной крепи породы обрушались вместе с анкерами [8], подтверждают полученные экспериментальные результаты.

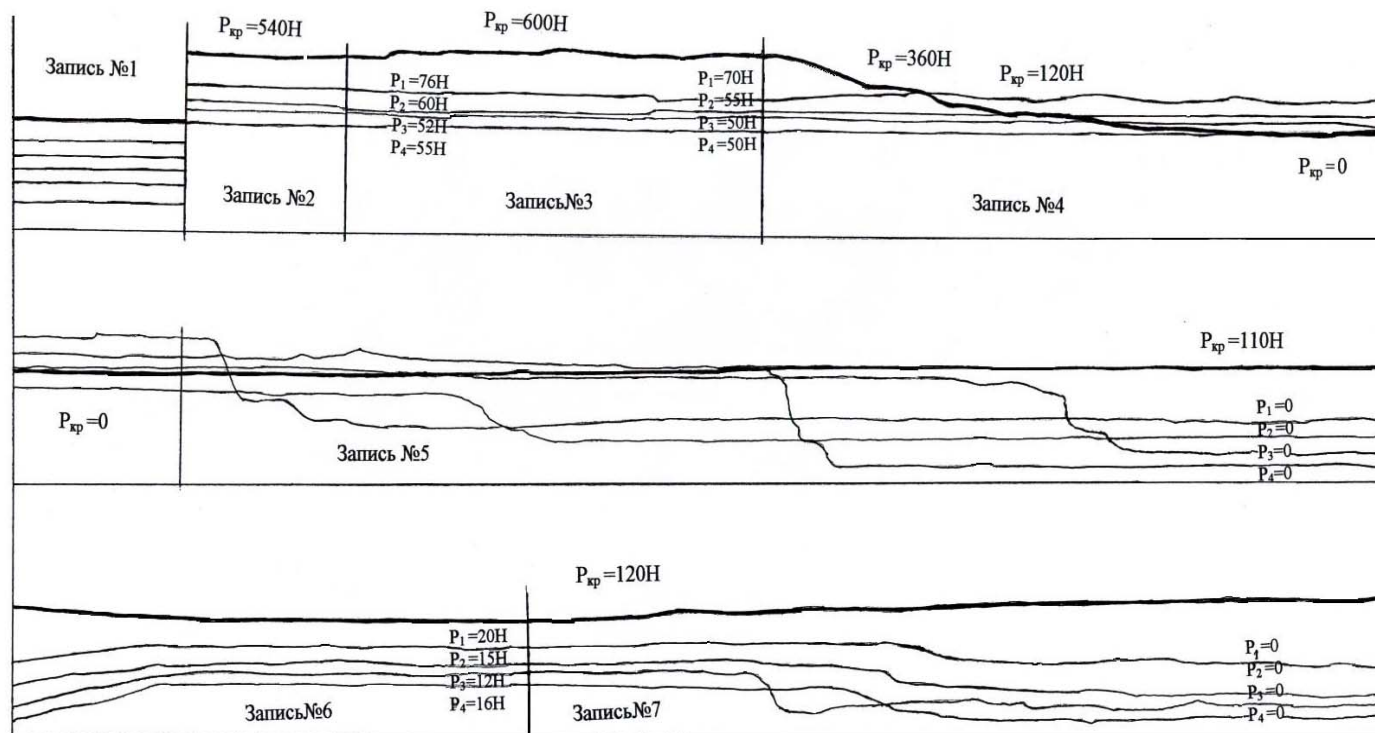


Рис. 2. Изменения усилий в анкерах и в кровле выработки при проведении эксперимента

Уникальность записей экспериментов состояла в том, что экспериментатор имел возможность расшифровки отдельно измерительных элементов и динамику изменения усилий в этих элементах. Указанная расшифровка дала возможность сделать следующие основные выводы в отношении перераспределения усилий между вертикальным давлением на кровлю и натяжением анкеров.

1. Предварительное натяжение анкеров до изменения НДС вмещающего массива обеспечивает консервацию сложившейся структуры и максимальное использование несущей спо-

собности вмещающего массива. Являясь активным способом крепления, оно снижает интенсивность разрушения пород на контуре выработки под воздействием техногенных процессов, и создает запас несущей способности анкерной крепи и позволяет оптимизировать ее технологические параметры, в частности уменьшить длину анкеров на 25%.

2. Снижение опорного давления кровли сопровождается уменьшением на нее вертикального давления, перераспределение НДС в массиве кровли и некоторого уменьшения усилий в анкерах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хлопцов В.Г., Баклашов И.В. О постановке задач при оценке устойчивости подземных горных выработок // ГИ-АБ. – М.: МГГУ, 2004. – №4. – С.69 – 75.

2. Картозия Б.А., Мороз А.И. Возникновение самонапряженного состояния горной породы при разгрузке // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГУ, 2001. – №4.

3. Мороз А.И. Самонапряженное состояние горных пород. – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2004. – 288 с.

4. СТО 36554501-019-2010. Выявление самонапряженного состояния горной породы/ А.И.Мороз, Л.Н. Репников, А.И. Аникин. М.: ОАО «НИЦ «Строительство», 2010. – 26 с.

5. Корчак А.В., Мороз А.И. К вопросу о минимизации снижения природных прочностных свойств вмещающего

массива при устройстве ограждающих конструкций котлованов в условиях городской застройки // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – М.: МГГУ, 2010. – №8, С.7-14.

6. Корчак А.В., Мороз А.И. Экспериментальные исследования влияния пригрузки на устойчивость ограждения бортов котлована // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – М.: Изд-во МГГУ, 2010. – №10, С.7-13.

7. Давыдов С.С. Расчет и проектирование подземных конструкций. – М: Стройиздат, 1950. – 376с.

8. Штумпф Г.Г., Егоров П.В., Шендрыгин А.Г. Повышение безопасности горных выработок при их креплении анкерной крепью. // Безопасность труда в промышленности. – 2002. – № 2. – С.30 – 32. **ГИАБ**

Коротко об авторах

Корчак А.В. – доктор технических наук, профессор, ректор Московского государственного горного университета, Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru,
Мороз А.И. – кандидат технических наук, зам. начальника отдела НИИОСП им. Н.М. Герсеева, moroz@niiosp.ru