

УДК 622.112.3:624.046

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ КРИТЕРИЕВ  
УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОД КРОВЛИ И АНКЕРНОЙ КРЕПИ**

**М. А. Розенбаум, Д. Н. Демёхин**

*Национальный минерально-сырьевой университет “Горный”,  
ВО, 21-я линия, 2, 199106, г. Санкт-Петербург, Россия*

Рассмотрены вопросы поэтапного крепления горных выработок. На моделях из эквивалентных материалов определены допустимые значения расслоения пород кровли, при которых необходимо устанавливать крепь в соответствии с полным паспортом крепления. Рассчитаны критические смещения, после реализации которых применение поэтапного крепления невозможно.

*Горная выработка, анкерная крепь, поэтапное крепление, устойчивость, допустимые смещения, критические смещения, модель из эквивалентных материалов*

На угольных шахтах Кузнецкого бассейна в настоящее время скорости подвигания очистных забоев составляют 180–200 м/мес и более. Скорости проведения подготовительных выработок в среднем по бассейну 150–160 м/мес, что создает серьезную проблему для своевременной подготовки выемочных столбов. Анализ отечественного и зарубежного опыта скоростного проведения подготовительных выработок [1, 2] показал, что повышение темпов проходки может быть достигнуто за счет разделения операций по креплению выработок во времени и в пространстве, т. е. при их поэтапном креплении [3, 4]. На первом этапе непосредственно у забоя устанавливается минимально необходимое для обеспечения устойчивости кровли количество анкеров, а недостающие анкеры, предусмотренные паспортом крепления, устанавливаются на втором этапе, на некотором расстоянии от забоя. Для обеспечения возможности поэтапного крепления выработок необходимо определить деформационные критерии пород кровли и анкерной крепи, при которых будет гарантирована устойчивость выработки, закрепленной на первом этапе только частью анкеров, предусмотренных паспортом. При достижении этих критерияльных значений в выработке должна быть установлена крепь в полном объеме.

Исследования показали, что обычно смещения кровли выработки можно условно разделить на две части:

— допустимые смещения, соответствующие допустимому удлинению стального анкерного стержня и составляющие примерно 4 % его длины [5];

— критические смещения, при которых приконтурный породный массив перестает быть управляемым. Такие смещения соответствуют удлинению анкерного стержня примерно на 7 % от его длины [6].

Эти смещения кровли можно принять за допустимые и критические в случае крепления выработок анкерной крепью в соответствии с разработанным полным паспортом крепления.

При поэтапном креплении выработок смещения будут развиваться более интенсивно, и критические значения могут быть достигнуты за более короткое время. При этом не ясно, сможет ли после этого установка крепи, предусмотренная полным паспортом, обеспечить необходимую устойчивость выработки. С целью выяснения этого вопроса проведены исследования на моделях из эквивалентных материалов.

Модельный массив из песчано-эпоксидной смеси закатывался отдельными слоями с межслоевой присыпкой слюдой [7]. Мощность каждого слоя составляла 0.01 м, а прочность в образце — 0.55 МПа, что в масштабе моделирования 1 : 50 для условий природы равнялось соответственно 0.5 м и 42 МПа. Изготовление массива осуществлялось на трехметровом стенде до высоты 300 мм при толщине стенда 200 мм. Затем массив разрезали на отдельные блоки — по габаритам рабочей камеры пресса. Одновременное изготовление массива обеспечивало одинаковые структурно-прочностные свойства всех блоков.

В процессе закатки массива, после изготовления четырех слоев в кровле предполагаемой выработки заранее задавались начальные смещения кровли. При этом в середине выработки помещались жесткие опоры с зазором между ними и кровлей, равным 1, 2, 3 и 4 мм в каждом блоке. В масштабе моделирования для условий природы это соответствовало смещению кровли на 50, 100, 150 и 200 мм. В результате нагружения происходило деформирование слоистой балки в виде изгиба: с изломом в характерных местах и проскальзыванием по межслоевым контактам.

Интенсивность нарушений в кровле каждой модели усиливалась с ростом зазора. Эскиз модели представлен на рис. 1.

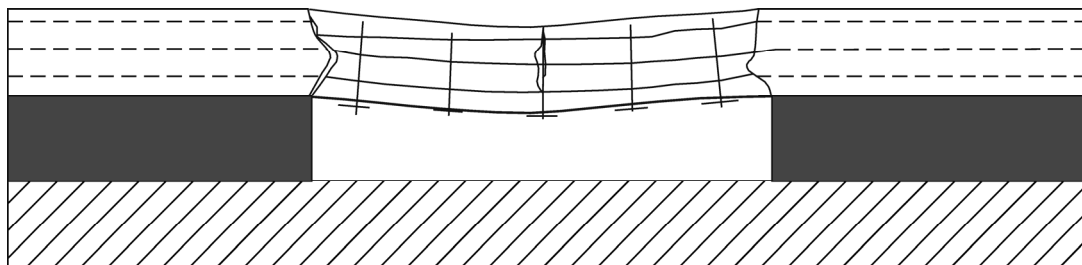


Рис. 1. Эскиз предварительного прогиба в кровле камеры при нагружении модели

При задаваемом смещении на 1 мм кровля плавно прогибалась до контакта с опорой. При смещении на 2 мм с одной стороны модели произошло плавное опускание кровли, с другой — появились мелкие трещины в пятах свода без существенного расслоения кровли. Прогиб кровли на 3 мм и особенно на 4 мм вызвал излом по оси свода и в его пятах с интенсивным ослаблением межслоевых связей (см. рис. 1).

В этих положениях в кровле моделей просверливались отверстия для установки в них анкеров с закреплением по всей длине отверстия. Затем восстанавливалась опалубка модели и завершалась ее закатка до необходимых размеров по высоте. Плотность анкеров во всех моделях принималась одинаковой и для условий природы соответствовала 1 анк/м<sup>2</sup> с установкой по квадратной сетке. Несущая способность каждого анкера в пересчете на природу составляла 100 кН. Анкеры в отверстиях закреплялись клеевым составом из песчано-эпоксидной смеси.

Смещение кровли выработок фиксировалось с помощью индикаторов часового типа. Нагружение модели производилось ступенями с выдержкой во времени. Испытания заканчивались при интенсивном проявлении деформаций и постоянной (предельной) нагрузке на модель. Основные результаты наблюдений за смещениями кровли  $U$  в зависимости от распределенных нагрузок на модель  $q$ , полученные по испытаниям шести блоков, приведены на рис. 2.

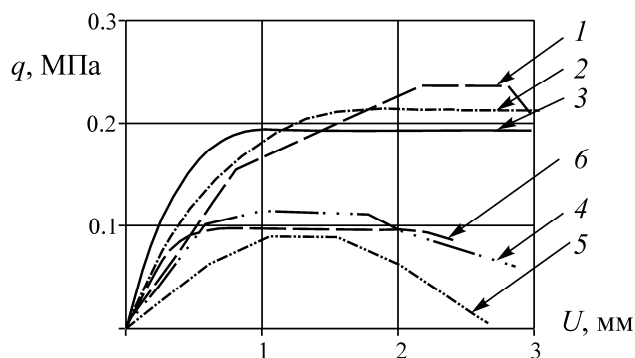


Рис. 2. Опускание кровли в камерах в различные периоды их обнажения для моделей 1–6 до анкерования, мм: 1 — 0; 2 — 0; 3 — 1; 4 — 2; 5 — 3; 6 — 4

Следует отметить, что в исходной модели без начальных смещений кровли и без анкерной крепи (кривая 1 на рис. 2) смещения происходили с максимальным прогибом в ее середине. Испытания закончились вывалом из кровли выработки. В других моделях закрепленная анкерами кровля, несмотря на то что она имела трещины по оси свода в результате заданных смещений, равномерно опускалась внутрь выработки. Эффективность сопротивления внешним нагрузкам системы “порода – крепь” можно представить в виде коэффициента  $k_y$  как отношение предельной нагрузки на кровлю с предварительно заданными смещениями к нагрузке в модели без заданных смещений кровли выработки:  $k_y = f(u)$  (рис. 3).

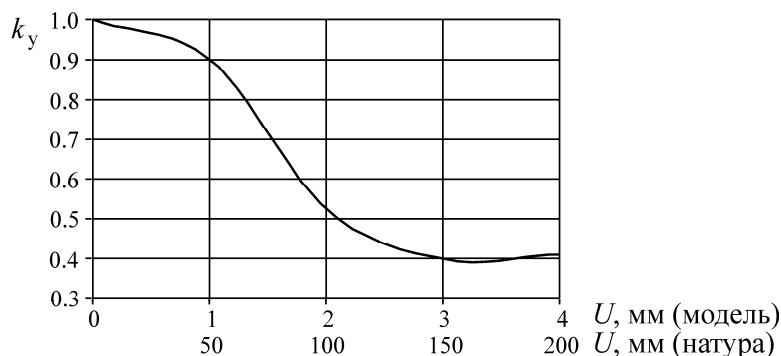


Рис. 3. Влияние эффективности сопротивления анкерной крепи внешним нагрузкам системы “порода – крепь” от опускания кровли

При моделировании выделялись три участка, каждый из которых имел свои особенности. В кровле выработки модели 3 перед анкерованием были заданы смещения на 1 мм (50 мм в натуре), причем смещения слоев происходили плавно, без разрушений и нарушений сплошности. Однако даже эти незначительные предварительные деформации вызвали снижение сопротивления крепи на 10 %. Частичные разрушения слоев в пятах свода с предварительным прогибом их слоев при смещениях кровли на 2 мм (модель 4) резко (вдвое) снизили устойчивость кровли. Предварительное смещение кровли до установки анкерной крепи на 3 и 4 мм (150, 200 мм в натуре) за счет расслоения и разрушения слоев породы снизили эффективность крепления до 40 % от первоначального значения.

Эксперименты заканчивались, когда неупругие деформации распространялись в глубь моделируемого массива за границы свода естественного равновесия. Все кривые смещений слоев кровли  $U = f(q)$  по пяти моделям с установленными анкерами имеют упругую и неупругую части с резким переходом из одного состояния в другое.

Первой в запредельное состояние, при уровне внешней нагрузки на модель 0.51 МПа, перешла кровля в модели 5, где заданные смещения составили 3 мм. Близки к этому состоянию и результаты смещений модели 6 с заданными смещениями 4 мм. И чем меньше были смещения кровли, тем выше предельная нагрузка перехода пород кровли в запредельное состояние. Это свидетельствует о влиянии начальных смещений кровли, закрепленной анкерами, на ее предельную несущую способность. Значение этого влияния в каждом случае определялось из сравнения с предельным сопротивлением кровли выработки, снабженной анкерной крепью, но без начальных смещений. В натуральных условиях последнее рассматривается как вариант установки анкерной крепи сразу после обнажения кровли.

При поэтапном креплении кровли выработок в приконтурном массиве пород могут развиваться деформации смещения (расслоения), при достижении которых увеличение количества устанавливаемых анкеров до паспортного значения практически не будет влиять на устойчивость выработки и размер смещения. Для большинства пород угольных месторождений Кузбасса расслоение составляет 50–70 мм.

Также получены данные по снижению эффективности анкерной крепи в зависимости от времени ее установки с момента обнажения. Зная скорости смещения пород кровли выработки в конкретных условиях, нетрудно оценить эффективность крепи в зависимости от времени ее установки с момента обнажения пород. Очевидно, что для разных пород и условий расположения камер этот период может быть различным.

В зависимостях, приведенных на рис. 2 и 4, деформации пород кровли выработки представляют сумму упругих деформаций ( $U_1$ ), вызванных пригрузкой пород кровли, и пластических деформаций ( $U_n$ ).

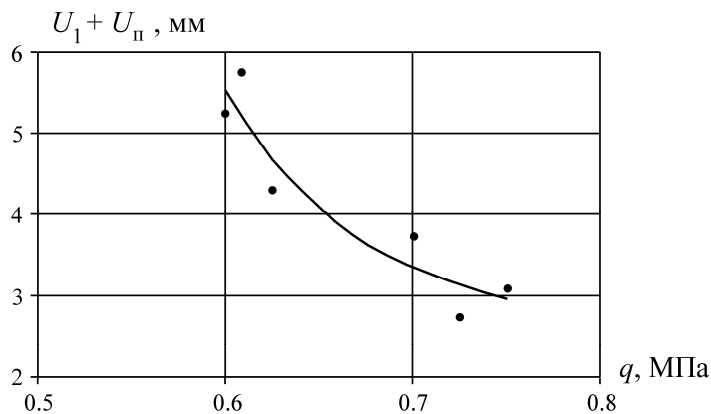


Рис. 4. Зависимость деформаций от нагрузки на модель

Из рис. 4 видно, что бóльшим смещениям кровли соответствуют меньшие нагрузки на крепь и наоборот. Чем больше времени выработка находится без крепи, тем дальше развиваются неупругие деформации от контура выработки в глубь массива с трещинообразованием и расслоением пород, а также со сдвижением разрушенных элементов массива. Установленная затем анкерная крепь работает уже совместно с ослабленным массивом кровли.

Установка анкерной крепи сразу после обнажения кровли выработки препятствует расслоению и сдвиговым деформациям пород, при этом стержни анкера испытывают максимальные усилия в основном растягивающего характера. В данном случае минимальные значения смещений кровли происходят при максимальных нагрузках на анкерную крепь.

Таким образом, установлено, что смещения пород кровли в начальный период обнажения происходят со скоростью 2–8 мм/сут, а при скорости 10–15 мм/сут массив переходит в стадию неупругого деформирования. Интенсивное опускание кровли в фиксированном сечении выработки наблюдалось при удалении забоя на 15–20 м.

Как показал анализ результатов исследований, смещения контура выработок, проводимых в более легких условиях, имеют меньшее значение, однако период интенсивных смещений пород кровли выработок наблюдается в пределах 10–15 сут.

#### **ВЫВОДЫ**

После достижения расслоения кровли 50–70 мм увеличение количества устанавливаемых анкеров до паспортного значения не будет влиять на устойчивость кровли выработки.

За допустимую величину расслоения пород, при достижении которой необходимо устанавливать крепь в соответствии с полным паспортом, следует принимать 25–35 мм.

Фактические значения смещений и расслоений пород кровли приконтурного массива при поэтапном креплении должны непрерывно контролироваться, чтобы в случае необходимости можно было принять меры по усилению крепи.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Стариков А. П., Снижко В. Передовой опыт скоростного проведения горных выработок на шахте “Заречная” в Кузбассе // Уголь. — 2008. — № 11.
2. Олтаунян П. Системы скоростной проходки выработок в странах Европы // Глюкауф. — 2001. — № 11.
3. Коренной Ю. П., Власенко Д. С., Демёхин Д. Н. Расчет параметров двухуровневой анкерной крепи горных выработок // Сборник научных трудов ВНИМИ. — 2012.
4. Магдыч В. И., Егоров А. П., Емельянов А. Е. Перспектива развития и внедрения технологии поэтапного проведения и анкерного крепления пластовых подготовительных выработок большого сечения на шахтах Кузбасса // Сборник научных трудов ВНИМИ. — 2012.
5. Якоби О. Практика управления горным давлением. — М.: Недра, 1987.
6. Зональная дезинтеграция горных пород и устойчивость подземных выработок / В. Н. Опарин, А. П. Тапсиев, М. А. Розенбаум и др. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008.
7. Глушихин Ф. П., Кузнецов Г. Н., Шклярский М. Ф. и др. Моделирование в геомеханике. — М.: Недра, 1991.

*Поступила в редакцию 10/XII 2013*