

ИЗУЧЕНИЕ СДВИЖЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ РАЗРАБОТКЕ МОЩНЫХ КРУТОПАДАЮЩИХ ПЛАСТОВ В КУЗБАССЕ

Е. В. КУНЯЕВ

Сдвигение горных пород, как результат перераспределения напряжений, является одним из проявлений горного давления. В то же время сдвигение пород, раз начавшись, само является причиной давления на крепь и на целики угля, окружающие выработки. Сдвигение пород как причина давления и является собственно предметом изучения при исследовании вопросов, связанных с управлением кровлей.

Изучение сдвижений горных пород дает материал для выбора параметров систем разработки, выбора способа управления кровлей, выбора типа крепи и расчета ее прочности для разработки мероприятий по борьбе с проявлениями горного давления аварийного характера: горные удары, выбросы газа, прорывы глин в выработки.

Непосредственно связано с управлением кровлей поддержание подготовительных выработок, особенно — нарезных, вблизи очистного забоя. Правильность проветривания очистных забоев нередко зависит от управления кровлей. Например, при неполной посадке кровли условия проветривания ухудшаются, а при выходе открытого провала на поверхность иногда полностью нарушается проветривание очистных работ. Особенное значение приобретает полнота обрушения пород кровли и хорошее уплотнение их в выработанном пространстве при разработке самовозгорающихся пластов.

Процесс обрушения и сдвижения пород при разработке мощных крутопадающих пластов имеет особенности, вносящие специфику в методику исследования сдвижений горных пород. Наличие при обрушении одновременного перепуска с верхнего горизонта обрушенных ранее пород, деформации и разрушение междуэтажных целиков и целиков между подэтажами, усадка закладки, подаваемой извне, в выработанном пространстве, — все это отличает разработку мощных крутопадающих пластов от всяких других.

Конкретными вопросами, подлежащими изучению с помощью наблюдений за сдвигениями горных пород, являются следующие.

1. Определение размеров зоны отжима угля у границ очистной выработки и зоны опорного давления.
2. Определение размеров устойчивых обнажений пород кровли и угольного массива.
3. Изучение трещинообразования в породах кровли пласта и в угле; определение размеров зоны трещинообразования.
4. Определение степени уплотнения обрушенных пород или закладки в выработанном пространстве.

5. Определение характерных величин сдвижения кровли в очистных выработках и деформаций крепи.

6. Выявление полной схемы обрушения, перепуска и сдвижения горных пород.

Нужно сказать, что большинство вопросов по управлению кровлей в достаточной степени полно разрешается с помощью исследования только сдвижений пород и деформаций крепи. Необходимость в измерениях давления возникает лишь при определении давления на крепь обрушенных пород и закладки, т. е. в тех случаях, когда сдвигающиеся породы нужно рассматривать как не имеющие связности между частями.

В большинстве случаев величина сдвижения горных пород может являться критерием правильности управления кровлей, т. е. чем меньше сдвижение кровли в пределах призабойного пространства, тем лучше условия горных работ, тем меньше вероятность обрушения кровли. Это положение действительно при управлении кровлей плавным опусканием, но недействительно при системах разработки с поддержанием кровли на целиках угля. В известных условиях отсутствие сдвижений кровли может означать накопление напряжений в целиках, влекущее за собой внезапные обрушения, а иногда и горные удары.

Более важным и правильным критерием хорошего состояния кровли является оптимальная скорость сдвижения кровли в призабойном пространстве, характерная для данных геологических и горных условий. Скорость сдвижения кровли непосредственно связана с интенсивностью выемки угля. Взаимосвязь этих двух величин до настоящего времени мало исследована, можно только сказать, что при прочих равных условиях одинаковая скорость сдвижения кровли соответствует одинаковой скорости подвигания забоя, и чем больше скорость подвигания забоя, тем больше скорость сдвижения кровли. В каждом отдельном случае изучение сдвижений горных пород происходит в конкретной технико-экономической обстановке. Естественно, что для надлежащего использования результатов наблюдений необходимо знать не только собственно сдвижения горных пород, но и основные технико-экономические показатели, геологию участка, организацию работ, систему разработки. Без этого невозможно будет в дальнейшем произвести обобщение результатов наблюдений за сдвижениями горных пород.

Теоретические расчеты величин сдвижений горных пород, более или менее разработанные для пластов пологого и наклонного падения, слишком слабо обоснованы для крутого падения, и особенно — для мощных пластов, где, помимо боковых пород в сдвижении, участвуют также большие массивы угля. Поэтому до настоящего времени исследования сдвижений горных пород в Кузбассе ведутся в основном экспериментальным путем. Происходит накопление материала для создания теории сдвижения пород при разработке мощных крутопадающих пластов.

Способы изучения сдвижений горных пород в шахтных условиях основаны на точных измерениях как относительных, так и абсолютных смещений точек, обозначенных закрепленными в породах или в угле знаками (реперами).

Измерения относительных сдвижений пород в доступных местах производятся измерительными стойками «СУ-1» (стойка универсальная), выпускаемыми Харьковским заводом маркшейдерских инструментов (ХЗМИ), и стальными рулетками.

Скорости сдвижений пород могут быть измерены как величины сдвижений за определенный небольшой отрезок времени (сутки, месяц).

В случае быстрых сдвижений возможно измерение скорости с помощью индикаторов часового типа, прикрепляемых к измерительной стойке СУ-1. Получив распределение скорости сдвижения кровли пласта в направлении подвигания очистного забоя, можно определить интегрированием кривой скоростей полную величину смещения кровли. Методика обработки подобных скоростных измерений предложена проф. С. Г. Авершиным.

Абсолютные величины сдвижений пород могут быть получены при помощи маркшейдерской съемки и нивелировки, применяемых в тех случаях, когда, во-первых, сдвижения достигают достаточно больших величин и, во-вторых, когда почва выработок перемещается под влиянием подработки. Измерение абсолютных сдвижений должно обязательно сопровождаться измерением относительных сдвижений пород. При малых сдвижениях пород с помощью маркшейдерских съемок трудно получить необходимую точность, так как привязочные хода от неподвижных точек должны иметь, как правило, протяженность в несколько сотен метров. Если есть уверенность, что почва выработки неподвижна, то смещения кровли выработки проще и точнее определяются от реперов, заложенных в почве, непосредственными измерениями. Если при этом требуется определить направление движения пород, то можно вести измерения от двух соседних точек линейными засечками. В недоступных местах измерения сдвижений пород производятся дистанционными приборами.

В Сибирском филиале ВНИМИ применяются следующие дистанционные приборы.

1. Реостатные электрические датчики ВНИМИ РД-1 и РД-2. В комплект датчика входит реостат в корпусе, измерительный мостик сопротивлений, тонкая металлическая лента, с помощью которой сдвижение передается шкиву датчика, и груз, подвешиваемый к ленте. Датчики закрепляются на штырях, забиваемых в скважины, пробуренные в боковых породах пластов. Сотрудником филиала А. С. Шалыгиным сконструировано телескопическое защитное устройство, позволяющее устанавливать датчик в закладочном массиве и производить таким способом длительные измерения сдвижений закладочного массива. Датчики описаны в литературе.

2. Струнные тенсометры, представляющие собой стальную струну, заключенную в корпус, и приводимую в движение электромагнитом. По частоте колебаний определяется длина струны и изменения последней. Тенсометры конструируются для измерения деформаций горных пород и железобетонной крепи.

3. Струнная измерительная стойка конструкции сотрудника Н. И. Куксова. Стойка представляет из себя прочный телескопический корпус, в котором заключен механизм, позволяющий производить измерения смещений кровли пласта (слоя) на расстоянии с помощью измерительной струнной станции, употребляемой для наблюдений за горным давлением. Недостатком такой стойки является ограниченный предел измерений — 250 мм.

4. Телескопическая стойка с рулеткой, перекинутой через шкив; конец рулетки выводится через трубу в доступную выработку.

5. Сигнализаторы, показывающие смещение пород, когда оно достигает заданной величины (находятся в стадии испытаний).

6. Глубинные реперы, закладываемые в скважинах по методике Уральского филиала ВНИМИ. Здесь нужно отметить, что лучшие результаты получаются, если глубина скважин невелика (до 10—20 м), а количество реперов в одной скважине диаметром 40—70 мм не превышает четырех. Большое значение имеет выбор места заложения репе-

ров в выработках. Если реперы закладываются в слабых прослойках или в породах ложной почвы, склонной к пучению, то общая картина сдвижения пород искажается местными напряжениями и сдвигами.

При изучении сдвижений боковых пород рассматривают их отдельно:

- а) впереди очистного забоя;
- б) в призабойном пространстве;
- в) в выработанном пространстве.

Сдвиги пород и деформация целиков угля впереди очистного забоя характеризуют величину зоны опорного давления и степень активности проявления опорного давления. Сдвиги в призабойном пространстве определяют необходимую величину податливости крепи и ширину шага обрушения или закладки. Здесь же необходимо отметить, что для расчета прочности крепи очистного пространства наиболее важным показателем является ее податливость. Как показывают совместные измерения смятия узлов крепи и давления пород на крепь, прочность деревянной призабойной крепи может быть задана с достаточной точностью на основании только линейных измерений податливости элементов деревянной крепи, работающих на смятие поперек волокон. Как известно, стойки, нагруженные в направлении оси, являются чрезвычайно жесткими, допускающими смятие лишь на несколько миллиметров, после чего наступает разрушение крепи. В данном случае давление пород в подавляющем числе случаев больше, чем это может выдержать любая деревянная крепь, и поэтому в расчет должна приниматься главным образом податливость крепи. Сдвиги кровли в выработанном пространстве (в завале) характеризуют способ разработки пластов с точки зрения полноты изоляции, оставляемых в выработанном пространстве целиков угля, влияния подработки на вышележащие пласты и на земную поверхность, утечек воздуха при проветривании.

Ниже приводятся некоторые примеры применения результатов наблюдений за сдвигами боковых пород для решения практических вопросов при тех или иных системах разработки.

Щитовая система разработки

Наблюдения за сдвигами боковых пород при щитовой системе разработки затруднены тем, что боковые породы в очистном пространстве и впереди его (ниже по падению) почти не обнажаются. В отдельных случаях удавалось пронаблюдать подработку щитами пород непосредственной кровли. Так, на шахте № 5—6 в 1945 г. был подработан щитами квершлаг с пласта IV Внутреннего на VI Внутренний, пройденный специально для наблюдений на вентиляционном горизонте, на глубине 80 м от поверхности. Пласт IV Внутренний имел мощность 9,5 м и угол падения 62°. Во время выемки щитового столба непосредственно под квершлагом сдвижение кровли пласта IV Внутреннего составило: по вертикали 107 мм, по горизонтали 131 мм, а общее—167 мм. Можно предполагать, что сдвижение кровли пласта в призабойном пространстве не превосходило 160 мм. В 1955 г. на той же шахте аспирантом ТПИ Посоховым Г. Е. с помощью инструментальных наблюдений за сдвигами боковых пород в вентиляционной печи удалось установить, что влияние щитового забоя начинает проявляться на расстоянии 20—25 м впереди него.

В 1956 г. на шахте «Коксовая-1» Сибирским филиалом ВНИМИ велись наблюдения за сдвигами горных пород при разработке пласта VI Внутреннего, имеющего мощность 2,5—2,8 м и угол падения 65°.

с применением щитовой крепи КВКП. При этом размер зоны влияния был равен 25 м, а скорость сдвижения кровли пласта по нормали от 0 по краям до 18 мм в сутки посредине щитового столба.

Если учесть, что скорость подвигания щита КВКП была 1 м в сутки, то полная величина сдвижения кровли пласта за время подвигания щита на 25 м была порядка:

$$h = \frac{25 \times 18}{1 \times 2} = 225 \text{ мм.}$$

Наблюдавшиеся величины сдвижения кровли непосредственно под щитами в пределах 160—225 мм и скорости сдвижения не более 20—30 мм/сутки не могут иметь вредных последствий при постоянном подвигании щитов. Но если забой будет остановлен, то достаточно нескольких дней, чтобы создались значительные нагрузки на щитовой накатник в направлении нормали к пласту. При большом числе рядов накатника его сопротивление движению пород будет весьма большим, и поэтому возникает возможность защемления щита между боковыми породами. Отсюда следует, что чем меньше число рядов наката, тем меньше сопротивление испытывает щит при движении от давления боковых пород.

Система разработки горизонтальными слоями в нисходящем порядке с закладкой

Наиболее полные наблюдения за сдвижениями боковых пород были проведены в 1950—52 гг. на одном из участков пласта IV Внутреннего шахты «Коксовая-I», имеющего мощность 8,5 м и угол падения 55°. Крепость угля средняя, нижняя пачка пласта мощностью 0,5—1,0 м представлена слабым углем. На 2,5 м выше пласта залегает пласт Проводник, имеющий мощность 1,2 м. Породы кровли пласта Проводник весьма устойчивые.

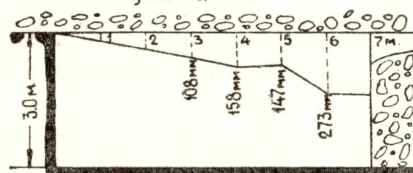
Вследствие того, что по пласту Проводник была пройдена печь, имелась возможность производить периодические маркшейдерские съемки в этой печи и, таким образом, наблюдать абсолютные смещения непосредственной кровли пласта IV Внутреннего. Эти данные вместе с данными о смещении кровли слоев позволили установить характер сдвижения пород кровли пласта и перемещения закладки вышележащих слоев.

Зона опорного давления ниже почвы вынимаемого слоя была равна 10 м, зона разрыхленной закладки распределялась на высоту, равную мощности пласта, выше которой находилась зона уплотненной закладки.

При разработке пластов горизонтальными слоями в нисходящем порядке закладочный массив перемещается вниз по падению по мере выемки слоев, поэтому не обеспечивается поддержание междуэтажных целиков угля и поверхности (рис. 1). Свободному перемещению закладочного массива препятствует сдвижение пород кровли пласта, создающее на некоторой высоте над действующим слоем зону уплотнения. Чем быстрее будет подвигание очистных работ по падению, тем меньше будет сдвижение кровли за время выемки одного слоя и тем позднее наступит момент, когда закладочный массив уплотнится под давлением пород кровли. Поэтому высота столба закладочного массива, определяющая давление на крепь (а следовательно, и сдвижение кровли слоя в призабойном пространстве), при быстром подвигании очистных работ будет больше, чем при медленном. Настоящий вывод действителен.

при таких скоростях подвигания очистного забоя, которые имеют практический смысл. При остановленном забое накопление сдвижений будет происходить за счет влияния фактора времени, и за достаточно большой промежуток времени сдвигения могут достигнуть большой величины.

Сдвигение кровли 5-го слоя в течение
выемки и закладки одного шага
глиной 7 м.



Сдвигение кровли 9-го слоя
на расстоянии 6 м. от забоя

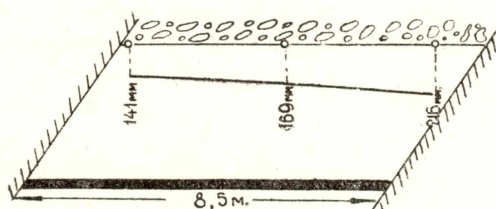


Рис. 1. Сдвигение кровли горизонтальных слоев при разработке пласта IV Внутреннего на шахте «Коксовая-1» с пневматической закладкой

Сжатие пласта на уровне почвы действующего слоя достигало 340 мм, что обуславливало сильное давление на слоевые штреки. Наличие усиленного давления на слоевые штреки можно ожидать, если они будут расположены в пределах зоны опорного давления.

Приведенные результаты наблюдений указывают на неполное выполнение закладкой своих функций при системе разработки горизонтальными слоями.

Система разработки наклонными слоями с закладкой

Наблюдения производились при разработке мощных пластов IV Внутреннего и Мощного при нисходящем порядке выемки слоев и при самотечной закладке выработанного пространства и пластов IV Внутреннего и Горелого — при восходящем порядке и при гидравлической закладке. Пласт Горелый вырабатывался полосами по простиранию, пласты IV Внутренний и Мощный — лавами длиной от 25 до 70 м. Пласты вырабатывались в 3 слоя и только пласт Мощный — в 4 слоя; мощность каждого слоя была 3 м. Углы падения пластов находились в пределах 36—41°. Боковые породы пластов были представлены аргиллитами и песчаниками средней устойчивости и устойчивыми.

Многочисленными наблюдениями за деформациями призабойной деревянной крепи из трехметровых стоек, верхняков и лежней было установлено, что средняя величина сдвижения кровли наклонных слоев (кроме первого), при которой стойки еще остаются не сломанными, равна 250—300 мм. В эту величину входит смятие верхняков и лежней, внедрение крепи в уголь в боковые породы и в закладку, изгиб верхняков и лежней в неровностях кровли и почвы.

При наблюдениях в слоях пласта Мощного была установлена величина предельной податливости крепи в I слое 60—85 мм, а во II и III слоях—210—250 мм. Когда сдвижение кровли достигало этой величины, стойки начинали ломаться. В первом слое крепь была более жесткой, чем в нижележащих слоях, за счет жестких опор на кровлю и почву слоя и отсутствия лежней.

Величина общей податливости крепи, деленная на скорость сдвижения кровли, равна сроку службы крепи. Поэтому в I слое пласта Мощного срок службы крепи был 3—4 дня, в нижележащих слоях—6—7 дней. Этим определяется ширина шага закладки и продолжительность работ в нем.

Сравнением скоростей сдвижения кровли наклонных слоев при различном опережении очистной выемки установлено, что при одновременной выемке трех и более слоев в одном выемочном поле, с опережением слоев не более чем на 30—40 м, возникают быстрые сдвижения больших массивов пород основной кровли, затрудняющие горные работы, поэтому опережения для 3-го и 4-го слоев должны быть больше, чем для первых двух (считая номера слоев по времени выемки).

Наблюдениями при разработке пласта Горелого наклонными слоями с гидрозакладкой в восходящем порядке с выемкой полосами по простиранию, установлено, что закладочный массив уплотняется в основном в течение первых трех месяцев после выемки, а через год практически заканчивается процесс усадки закладки при том условии, что в выработанном пространстве не оставляется никаких целиков угля. Усадка закладки, при которой закладочный массив становится плотным, составляет 15—17% от первоначального объема, но заканчивается процесс сдвижения при усадке 26—29%. Довольно значительный коэффициент усадки объясняется тем, что закладочный материал состоит на 30—40% из глинистых пород, полностью разлагающихся под действием воды и давления и заполняющих все пустоты между частицами закладки.

Сдвижение кровли при этой системе разработки происходит свободно, так как во всем выемочном поле не оставляется никаких целиков угля, что обуславливает высокое давление кровли на закладочный массив, достигающее в середине поля веса столба пород высотой, равной глубине разработки. Плотная закладка служит хорошим изолирующим материалом, предохраняющим уголь в вышележащих слоях от самовозгорания, а это, в свою очередь, создает возможность для отработки слоев последовательно, один за другим, без поддержания подготовительных выработок для других слоев, кроме вынимаемого. При разработке пласта Горелого на шахте «Коксовая—1» этой системой были достигнуты лучшие показатели по производительности и по расходу лесных материалов по сравнению с другими системами разработки с закладкой.

Система разработки длинными столбами по простиранию с закладкой

На одном из участков шахты «Коксовая—1» этой системой с применением самотечной закладки разрабатывается пласт VI Внутренний мощностью 2,6—3,0 м с углом падения 58—63°, имеющий устойчивые боковые породы.

Этаж наклонной высотой 116 м был разделен на три подэтажа, причем нижележащие подэтажи вырабатывались впереди вышележащих, а подэтажным штреком служила не заложённая часть выработанного пространства под верхним бортом лав.

Величина наибольшего сдвижения кровли пласта в очистном пространстве за время выемки угля на величину одного шага закладки длиной 27 м была равна 280 мм, сдвижения были равномерными.

Закладочный массив существенно улучшает условия поддержания кровли. Поддержание штреков в закладочном массиве не вызывало затруднений. Поверхность закладочного массива, служившая почвой штреков, практически оставалась неподвижной, так как массив уплотнялся в основном за счет сдвижения кровли пласта. Сдвижение кровли пласта на уровне вентиляционного штрека нижней лавы за весь срок службы его при опережении подэтажей порядка 40 м было равно примерно 250 мм, что не превышало податливости крепи штрека.

Важным выводом из наблюдений при данной системе разработки является тот, что наиболее целесообразным порядком выемки подэтажей является восходящий. При этом эффективно используется закладочный массив для поддержания кровли пласта, устраняются потери угля в подэтажных целиках и достигаются наиболее безопасные условия работ в отношении поддержания верхнего борта лав по сравнению с нисходящим порядком выемки подэтажей. Последнее объясня-

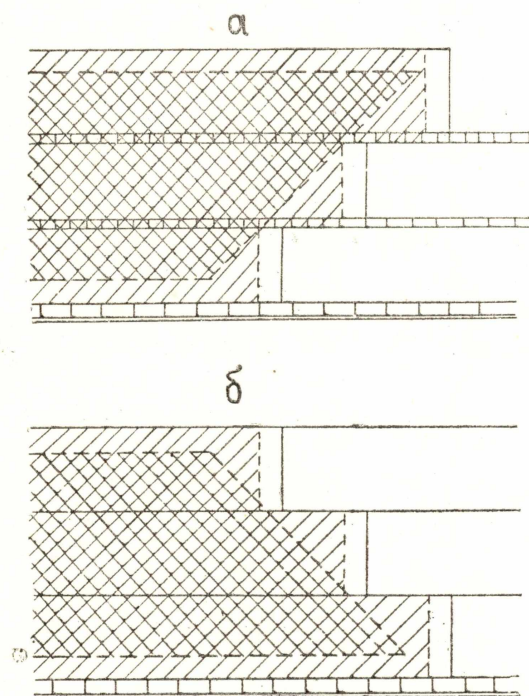


Рис. 2. Схема распределения уплотненной закладки при разработке пластов длинными столбами по простиранью с закладкой: а — нисходящий порядок выемки подэтажей; б — восходящий порядок выемки подэтажей

ется тем, что при восходящем порядке выемки подэтажей верхняя часть лав поддерживается большими целиками угля сверху и спереди (со стороны забоя), и кровля пласта сдвигается в этом месте только под влиянием выемки угля в данной лаве. При нисходящем порядке выемки подэтажей верхние борты лав расположены в зоне перекрытия сдвижений от двух смежных подэтажей (рис. 2), и поэтому подэтажные целики угля раздавливаются и создают опасность обрушения.

Заключение

1. Результаты наблюдений Сибирского филиала ВНИМИ за сдвигами боковых пород и угольных целиков позволили выявить ряд закономерностей, имеющих существенное значение для выбора элементов систем разработки мощных крутопадающих пластов.

2. Применяя даже простейшие инструменты и несложную методику, можно организовать постановку массовых наблюдений в шахтных условиях, что необходимо для обоснованных выводов в виду большой изменчивости горных и геологических условий.

3. Необходимо усилить внимание к изучению процессов сдвижения горных пород в целях совершенствования управления кровлей не только специальных научно-исследовательских организаций, но и всех коллективов и частных лиц, занятых проектной и исследовательской работой в области совершенствования способов разработки угольных и рудных месторождений.
