

УДК 622.833.5+622.831.312

Влияние горизонтальных напряжений на структурные преобразования пород междупластья при совместной отработке угольных пластов c_{10}^B и c_9

Геомеханическим моделированием с привлечением метода конечных элементов установлено влияние горизонтальных компонент напряжений как одного из основных факторов воздействия на структурные преобразования литологических разностей междупластья в месте их расслоения, образования и возможного последующего разрушения распорно-блочных структур в кровле выемочных выработок при над- и подработке массива очистными работами по пластам c_{10}^B и c_9 .

Ключевые слова: напряжения, структура пород, междупластье, отработка, угольные пласты.

Контактная информация: kovalevska_i@yahoo.com

На шахтах Западного Донбасса распространена практика одновременной выемки угля из двух, а иногда из трех смежных пластов, которые не могут быть отнесены к категории сближенных, так как мощность междупластья составляет в среднем 23–25 м. Тем не менее, ввиду специфических горно-геологических условий залегания слабых пород с низким сцеплением (или его полным отсутствием) на контактах литотипов при интенсивном воздействии ослабляющих факторов трещиноватости и обводненности, не исключена возможность взаимовлияния аномалий горного давления даже при указанных мощностях междупластья. Такая вероятность впервые была оценена в работе [1], где не исключается смыкание областей нарушенных пород от опережающей отработки вышележащего пласта с нарушенными породами при последующей очистной выемке нижележащего пласта.

Актуальность данной задачи обусловлена тем, что соединение областей нарушенных пород при одновременной выемке смежных угольных пластов неминуемо повлечет за собой не только обрушения приконтурных пород в выемочных штреках, но и посадки механизированного комплекса на «жесткую базу», т. е. серьезную аварийную ситуацию. Поэтому важна оценка состояния пород междупластья пластов c_{10}^B и c_9 при их одновременной отработке в нисходящем порядке. В этой задаче изучения структурных преобразований пород междупластья отдельно выделена роль горизонтальных напряжений σ_x в формировании распорно-блочных систем, противодействующих горному давлению и способствующих сохранению эксплуатаци-



В. И. БОНДАРЕНКО,
доктор техн. наук
(Национальный горный университет)



И. А. КОВАЛЕВСКАЯ,
доктор техн. наук
(Национальный горный университет)



Г. А. СИМАНОВИЧ,
доктор техн. наук
(Национальный горный университет)



М. В. БАРАБАШ,
инженер
(ООО «ДТЭК ЭНЕРГО»)



В. Г. СНИГУР,
канд. техн. наук
(ЧАО «ДТЭК Павлоградуголь»)

онного состояния 914-го сборного штрека при отработке пласта c_9 .

Результаты исследований. Принцип формирования устойчивых распорно-блочных систем известен и схематически описан, например в работах [2–5]. Механизм противодействия горному давлению породных слоев, разделенных вертикальными трещинами на блоки, состоит в появлении распорных усилий (как результирующих горизонтальных напряжений σ_x) в каждом блоке, не только препятствующих их обрушению, но и создающих определенный подпор вышележащим породным слоям. Воспринимая основную часть горного давления, распорно-блочные конструкции защищают крепежную и охранную системы выемочных штреков. Таким образом, степень устойчивости распорно-блочных конструкций во многом определяет эффективность поддержания выемочных выработок, что изучено на примере исследования сдвижения пород междупластья пластов c_{10}^B и c_9 в области расположения 914-го сборного штрека.

Воздействие горизонтальных напряжений σ_x и степень их важности определяются двумя условиями: с одной стороны, чем больше сжимающих σ_x , тем более устойчива распорно-блочная конструкция к воздействию вертикального горного давления; с другой стороны, чрезмерные сжимающие усилия могут привести к разрушению некоторых породных объемов на контакте смежных блоков и к потере устойчивости всей распорно-блочной конструкции.

Кроме того, появление в отдельных областях растягивающих σ_x провоцирует развитие вертикальных трещин разрыва с последующим первичным или вторичным разделением породных слоев на блоки и возникновением опасности потери контакта между ними.

Распределение σ_x по мощности междупластья изучали в два этапа путем проведения вычислительных экспериментов:

- *первый* – моделирование состояния пород вокруг 914-го сборного штрека в период ведения очистных работ по пласту c_{10}^B ;
- *второй* – учет структурных преобразований междупластья по результатам первого этапа для их отражения в геомеханической модели отработки пласта c_9 и поведения вмещающего 914-й сборный штрек массива после прохода 914-й лавы.

На первом этапе моделируется участок междупластья, где происходит встреча очистного забоя 1014-й лавы (пласт c_{10}^B) и проходческого забоя 914-го сборного штрека (пласт c_9), поскольку зоны фронтального и бокового опорного давления от выемки пласта c_{10}^B с аномалиями горного давления максимально накладываются вокруг 914-го сборного штрека. Геологический разрез участка приведен на рис. 1; слагающие его литотипы (в порядке увеличения глубины расположения) характеризуются следующими коэффициентами крепости: угольные пласты $f = 3$; кровля пласта c_{10}^B – алевролит $f = 2,5$, аргиллит $f = 2$; почва пласта c_{10}^B – аргиллит $f = 1...2$, алевролит $f = 2,5$, песчаник $f = 3...6$; кровля пласта c_9 – аргиллит $f = 2$, песчаник $f = 3...6$, аргиллит $f = 1...2$; почва пласта c_9 – аргиллит $f = 1...2$, алевролит $f = 2,5$, песчаник $f = 3...6$, алевролит $f = 2,5$.

Значение коэффициента концентрации K_x горизонтальных напряжений σ_x определено на основе результатов вычислительных экспериментов и представлено на рис. 1 в относительных единицах состояния нетронутого массива согласно известным соотношениям [6, 7]

$$K_x = \sigma_x / (\lambda \gamma H),$$

где $\lambda = \mu / (1 - \mu)$ – коэффициент бокового распора;
 μ – коэффициент поперечной деформации;
 γ – средневзвешенный объемный вес пород над угольной толщи до земной поверхности, кН/м³;
 H – глубина размещения выработки, м.

Срезы эпюр горизонтальных напряжений выполнены по вертикальным плоскостям, проходящим по центру 914-го сборного штрека (пунктирная линия) и на расстоянии 1,5 м от центра в сторону его бока (сплошная линия); при этом разница эпюр σ_x в левом и правом боках выработки малосущественна. Вертикаль $\lambda \gamma H$ отмечает состояние нетронутого массива.

Коэффициент концентрации K_x горизонтальных напряжений σ_x весьма информативен в части определения областей углевмещающей толщи в целом и междупластья в частности, где породные слои разделяются на блоки, образуя так называемую распорно-блочную конструкцию (систему) с возможностью оценки степени ее устойчивости. На примере участка междупластья (см. рис. 1) оценена его устойчивость.

В кровле и почве пласта c_{10}^B при его выемке наблюдаются резкие перепады концентрации K_x с изменением знака. С одной стороны, отрицательные значения $K_x = -(0,45...2,83)$ относительно невелики, но в силу слабого сопротивления растяжению всех без исключения представленных литотипов (1,2–1,9 МПа) данных концентраций вполне достаточно для разделения породных слоев на блоки. С другой стороны, высокие концентрации сжимающих σ_x уровня $K_x = 4,6...7,8$ способствуют разрушению контактов смежных породных блоков, они до некоторой степени (или полностью) теряют связь друг с другом, распорные усилия резко снижаются, а распорно-блочная конструкция переходит в неустойчивое состояние с последующим обрушением.

Исходя из сформулированных позиций оценен породный массив, вмещающий пласты c_{10}^B и c_9 , в котором выделены области устойчивого состояния (на рис. 1 они заштрихованы по вертикальной оси y). Поскольку в данном вопросе нас более всего интересует междупластье, то установлена область его устойчивого состояния мощностью 13,4 м, в которую попадает большая часть песчаника, угольный пропласток c_9^1 и более крепкий аргиллит. Мощности устойчивого междупластья вполне достаточно для защиты 914-го сборного штрека от чрезмерного горного давления и предотвращения какого-либо влияния надрабатываемого пласта c_{10}^B . Но описанная геомеханическая ситуация отражает положение исследуемого участка 914-го сборного штрека вне зоны влияния очистных работ по пласту c_9 . Для выяснения поведения пород междупластья (с учетом произошедших структурных преобразований) при отработке пласта c_9 проведен второй этап моделирования.

При изучении прогнозного горно-геологического раздела по 914-му сборному штреку выделен его наиболее проблемный участок (в районе ПК 120) с точки зрения вероятного интенсивного проявления горного давления. Здесь породы междупластья представлены так: почва пласта c_{10}^B – аргиллит $f = 1...2$, алевролит $f = 2,5$, аргиллит $f = 1...2$; угольный пропласток c_9^1 крепостью $f = 3$; кровля пласта c_9 – аргиллит $f = 2$.

После прохода очистного забоя 914-й лавы на проблемном участке углевмещающей тол-

щи структурные преобразования характеризуются следующими особенностями (рис. 2). В области A породы почвы пласта c_{10}^B , нарушенные ранее опорным давлением от 1014-й лавы, выведены на некоторое время из равновесного состояния очистными работами по пласту c_9 . Область A попадает в зону плавного прогиба слоев без нарушения сплошности (при выемке пласта c_9) в соответствии с существующими представлениями (например, см. работы [8, 9]). Именно этот плавный прогиб слоев активизирует деформации изгиба пород основной кровли с возникновением дополнительных концентраций σ_x , в результате неустойчивое состояние распорно-блочных систем распространяется до верхней части мощности алевролита: глубина распространения неустойчивой области A в почву пласта c_{10}^B возрастает.

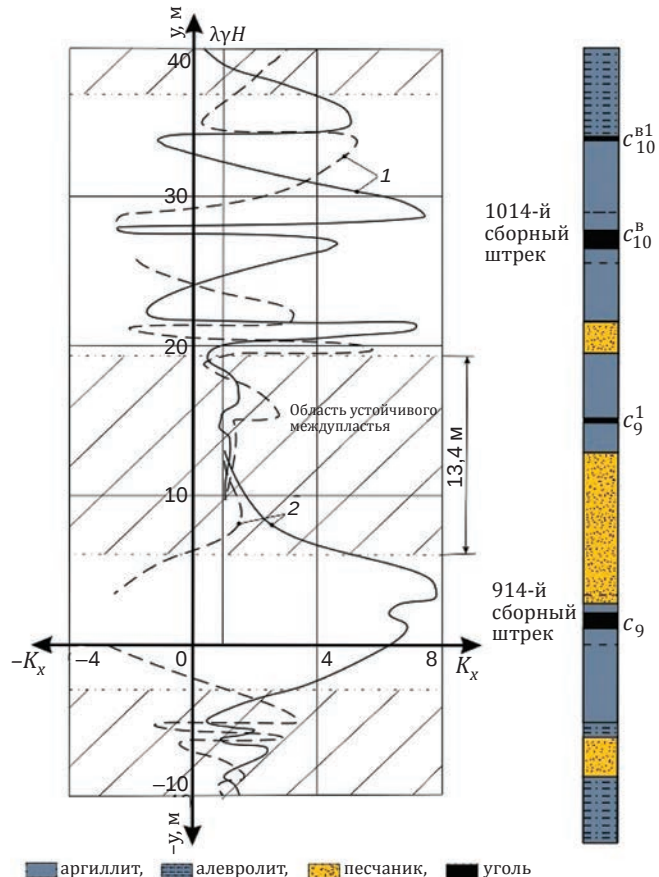


Рис. 1. Изменение коэффициента концентрации K_x горизонтальных напряжений по мощности междупластья угольных пластов c_9 и c_{10}^B в сечениях: — в боку штрека; - - - по центру штрека; 1 – воздействие 1014-й лавы; 2 – влияние 914-го сборного штрека.

Область А – это неустойчивая часть так называемой зоны шарнирно-блокового сдвижения, сформированной при отработке пласта c_9 . Действующие в ней концентрации сжимающих σ_x достигают $K_x = 6,9 \dots 9$, что разрушает области контактов породных блоков с последующей потерей устойчивости распорно-блочной системы всего породного слоя.

Область В неустойчивых пород почвы пласта c_9 также увеличивается по глубине вследствие действия опорного давления в период прохождения данного участка 914-й лавой.

В результате в междупластье остается устойчивая область пород мощностью 6,1 м (см. рис. 2), которая предотвращает последствия структурных преобразований массива при ведении горных работ по пласту c_{10}^B от тех, которые возникают в период выемки пласта c_9 . Однако данная устойчивая область характери-

зуется относительно небольшой мощностью, а располагается между обширными областями А (порядка 14–16 м), В и В (порядка 18–19 м) неустойчивых пород. По нашему мнению, достаточно ограниченных подвижек легкодеформируемых разупрочненных пород в областях А, В и В, чтобы вывести из равновесного состояния область устойчивого междупластья. Тогда неустойчивые области смыкаются и интенсивность проявлений горного давления резко возрастает с высокой вероятностью возникновения аварийных ситуаций при поддержании 914-го сборного штрека. Здесь провоцирующими явлениями могут служить: повышенный водоприток, мелкоамплитудные геологические нарушения, не выявленные на стадии геологических изысканий, реологические особенности поведения массива и др.

Противодействовать негативному развитию событий можно, обеспечив условия устойчивого состояния распорно-блочных конструкций в кровле выемочных выработок путем ограничения их подвижек (приводят к исчезновению или чрезмерным распорным усилиям от горизонтальных напряжений σ_x) за счет формирования мощной армопородной плиты комбинацией канатных и сталеполимерных анкеров [3, 4]. Сопротивление армопородной плиты прямо пропорционально квадрату ее мощности, что при использовании канатных анкеров создает потенциальную возможность противодействия чрезвычайно высокому горному давлению.

Состояние пород междупластья при совместной отработке пластов c_{10}^B и c_9 , которые по существующей классификации не являются сближенными, в значительной степени определяется распределением горизонтальных напряжений в вертикальных плоскостях углевещающего массива; в процессе его структурного преобразования из ранее целостных породных слоев формируются распорно-блочные системы, во многом определяющие интенсивность проявлений горного давления в 914-м сборном штреке.

Встреча зон аномалий горного давления при выемке пласта c_{10}^B и проведении 914-го сборного штрека по пласту c_9 создала области разупрочнения в верхней и нижней частях междупластья; однако их слияние не произошло из-за формирования устойчивой области мощностью 13,4 м (по данным анализа результатов вычислительного эксперимента). Здесь

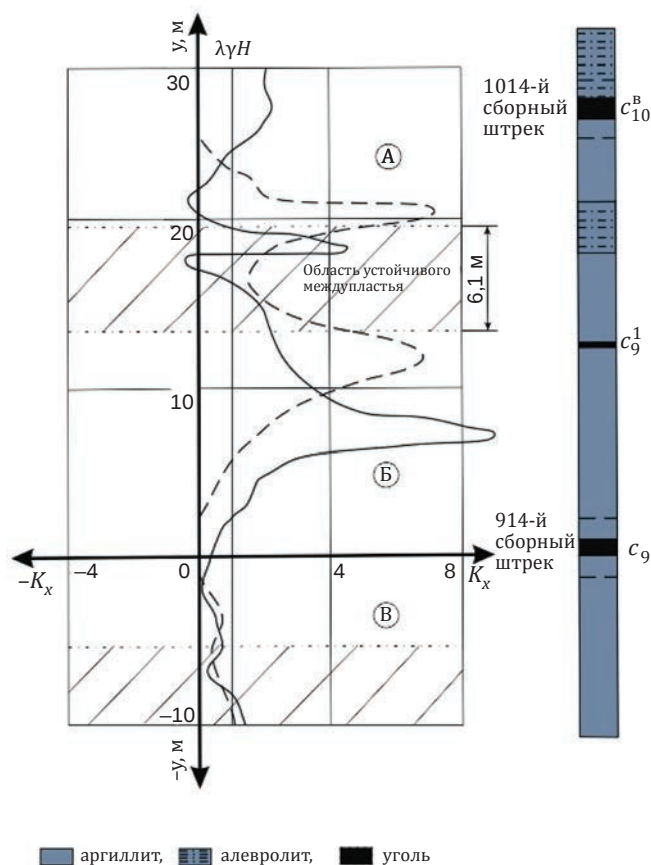


Рис. 2. Изменения коэффициента концентрации K_x горизонтальных напряжений по мощности междупластья при отработке пласта c_9 в сечениях 914-го сборного штрека: — в бок; - - - по центру.

ЛИТЕРАТУРА

породные слои сохраняют относительно целостную структуру, а в некоторых слоях образуются устойчивые распорно-блочные системы. Поэтому сколь-нибудь существенное влияние надработки на состояние пород вокруг 914-го сборного штрека не наблюдается.

При ведении очистных работ по пласту c_9 в районе расположения 914-й лавы зоны нарушенных пород резко увеличиваются (особенно в кровле) и на проблемном участке по длине штрека мощность устойчивого междупластья сокращается до 6,1 м. Принимая во внимание, что здесь размещены аргиллиты и алевролиты, склонные к размоканию при водонасыщении, а также возможность проявлений других малопрогнозируемых ослабляющих факторов, становится достаточно вероятной ситуация слияния зон нарушений в междупластье на отдельных участках по длине 914-го сборного штрека с образованием обширных областей неустойчивого массива, выходящих за пределы мощности междупластья.

Выводы. В каждой конкретной горно-геологической ситуации совместной отработки пластов, не относящихся к категории сближенных, необходима геомеханическая оценка устойчивости междупластья для обоснования параметров ведения горных работ. В исследуемых условиях рекомендуется создание мощных распорно-блочных систем в кровле 914-го сборного штрека за счет применения комбинации сталеполимерных и канатных анкеров; такие заанкерованные распорно-блочные конструкции имеют высокий потенциал по сопротивлению горному давлению.

1. Barabash M. V. State analysis of overworked and underworked parting between contiguous seams and during their simultaneous top-down mining // Mining of Mineral Deposits – 2016, – 10(2). – P. 34–39. <https://doi.org/10.15407/mining10.02.034>
2. Штанговая крепь / Под ред. В. Н. Семецкого. – М.: Недра, 1965. – 327 с.
3. Бондаренко В. И. Взаимодействие грузонесущих элементов крепежной системы выемочных выработок масив – рама – анкер: моногр. / [В. И. Бондаренко, И. А. Ковалевская, Г. А. Симанович и др.]. – Днепропетровск: Литограф, 2015. – 214 с.
4. Бондаренко В. И. Геомеханика нагружения и расчет параметров крепежной и охранной систем подготовительных выработок шахт Западного Донбасса: моногр. / [В. И. Бондаренко, И. А. Ковалевская, Г. А. Симанович и др.]. – Днепропетровск: ЛизуновПресс, 2014. – 228 с.
5. Бондаренко В. И. Экспериментальные исследования пучения пород почвы подготовительных выработок на пологих пластах Донбасса: моногр. / [В. И. Бондаренко, И. А. Ковалевская, Г. А. Симанович и др.]. – Днепропетровск: ЛизуновПресс, 2014. – 224 с.
6. Борисов А. А. Механика горных пород и массивов: учебн. / А. А. Борисов. – М.: Недра, 1980. – 360 с.
7. Баклашов И. В. Механические процессы в породных массивах / И. В. Баклашов, Б. А. Картозия. – М.: Недра, 1986. – 272 с.
8. Зборщик М. П. Охрана выработок глубоких шахт в зонах разгрузки / М. П. Зборщик, В. В. Назимко. – К.: Техніка, 1991. – 248 с.
9. Бондаренко В. И. Теория управления состоянием массива горных пород: учебн. / В. И. Бондаренко, М. А. Ильяшов, Н. К. Руденко. – Днепропетровск: ЛизуновПресс, 2012. – 320 с.

ПО МАТЕРИАЛАМ ЖУРНАЛА «УГОЛЬ УКРАИНЫ» ПРОШЛЫХ ЛЕТ

Год 1978

В журнале № 2 в статье О. И. Касимова, Н. И. Антощенко «Метод расчета подсосов воздуха в дегазационные скважины» приведен расчет подсосов воздуха в дегазационные скважины для разных горнотехнических условий. Даны предложения по улучшению герметизации скважин. Применяемая технология герметизации затрудняет осуществление хорошей цементации скважин при большой длине обсадных труб (свыше 10 м); поэтому повышение концентрации отсасываемого метана и эффективность дегазации требуют разработки новых способов и средств герметизации. В 4–5 раз сокращаются подсосы воздуха в скважины при охране их угольными целиками. На пологих пластах ширина целиков вдоль выработок, из которых бурятся скважины, должна быть не менее 14 м.

Предлагаемый метод расчета подсосов воздуха в скважины позволяет выбрать рациональные способы охраны скважин и глубину их герметизации, уточнить исходные данные для расчета диаметров трубопроводов и подачи вакуум-насосов.