

УДК 622.281

Е.В. Бабенко (канд. техн. наук, научн. сотр.)

Украинский государственный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики и маркшейдерского дела, г. Донецк

ЭВОЛЮЦИЯ ЗОН ПОВЫШЕННОГО ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ОТРАБОТКИ СВИТЫ СБЛИЖЕННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Согласно результатам компьютерного моделирования перераспределения горного давления в процессе развития очистных работ в свите сближенных угольных пластов установлен эффект подражания, который заключается в сохранении формы зоны ПГД после ее непосредственной под- или надработки и увеличении коэффициента концентрации напряжений при побочной под- или надработке.

Ключевые слова: горное давление, свита сближенных пластов.

Развитие очистных работ в свите сближенных пластов сопровождается эволюцией зон повышенного горного давления (зон ПГД). Области повышенного горного давления представляют серьезную опасность с точки зрения газодинамических явлений, а также устойчивости горных выработок. При переходе таких зон в подготовительных и очистных выработках повышается вероятность внезапных выбросов угля и газа, а в очистных забоях происходят обрушения непосредственной кровли в рабочее пространство. Такие явления повышают опасность горных работ, себестоимость поддержания подготовительных выработок, снижают надежность работы и темпы продвижения очистных забоев. Прогноз зон ПГД остается актуальной и не до конца решенной задачей. Это связано с большим числом факторов, определяющих параметры зон ПГД.

Нормативные отраслевые методики позволяют определять ширину зоны ПГД, базируясь на эмпирическом подходе через расчет длины зоны опорного давления от одиночной лавы. Такой упрощенный подход приводит к тому, что прогнозные размеры

зон ПГД отличаются от фактических в несколько раз. Большую практическую пользу имеет информация о величине концентрации горного давления в зонах ПГД. Этот параметр используется при оценке устойчивости подготовительных и очистных выработок, прогнозе газодинамических явлениях. Однако такой параметр можно определить только с помощью численных методов. Кроме того, только трехмерные численные модели способны учесть пространственный эффект при распределении горного давления в окрестности выработанного пространства сложной формы. Особенно это актуально при одновременной разработке свиты сближенных пластов. В данной статье излагается один из возможных подходов при расчете размеров и величины концентрации напряжений в зонах ПГД с учетом пространственного характера перераспределения напряжений в процессе развития очистных работ в свите сближенных угольных пластов.

Геомеханическая модель для расчета трехмерного распределения напряжений в массиве построена следующим образом. Закономерности перераспределения напряженно-деформированного состояния исследовалось с помощью компьютерного моделирования.

Представим толщу горных пород, как толстую плиту, опирающуюся на неоднородное основание 3 и прогибающуюся под собственным весом q (рис. 1).

Плита опирается на массив, жесткость которого 3 зависит от наличия выработанных пространств и вынимаемой мощности m пластов. Позициями 1 и 2 указаны ранее выработанное пространство и то, которое формируется примыкающей действующей лавой.

На земной поверхности в процессе отработки лав 4 формируется мульда сдвижений 5. Распределение напряжений и деформаций в толстой плите определяется при помощи трехмерных моделей. Заменяв толстую плиту тонкой, можно подобрать такие эквивалентные величины жесткости основания и деформационных параметров плиты, при которых некоторые параметры напряженно-деформированного состояния будут соответствовать фактическим.

С помощью такой модели можно с высокой достоверностью прогнозировать прогибы, напряжения и пространственное распределение горного давления в породных слоях в пределах высоты подрабатываемой толщи, равной 150 м.

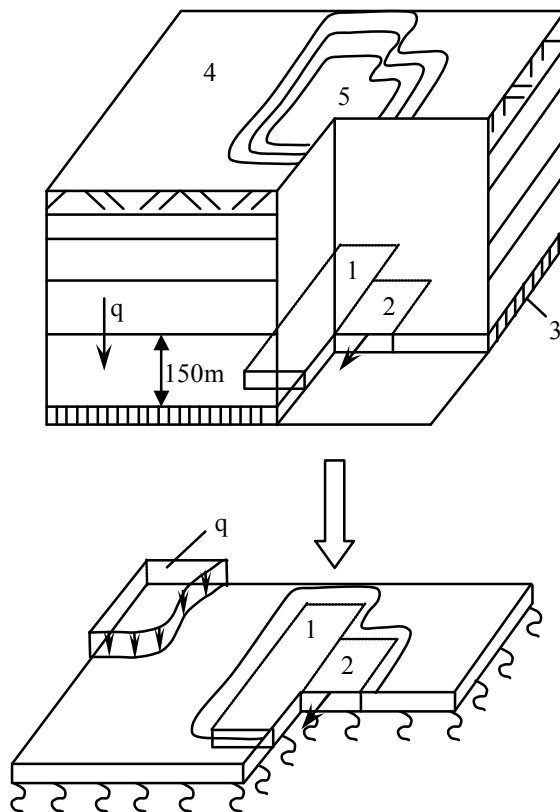


Рис. 1. Расчетная схема для определения напряженно-деформированного состояния подрабатываемой толщи горных пород

- 1 – ранее выработанное пространство
- 2 – действующая лава
- 3 – основание
- 4 – земная поверхность
- 5 – муфта

Задача о прогибе плиты-слоя над выработанными пространствами решается путем численного дифференцирования уравнения в частных производных методом конечных разностей.

$$\frac{\partial^4 \omega}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \omega}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \omega}{\partial y^4} = \frac{q}{D} - \frac{K\omega}{D}, \quad (1)$$

где ω – прогибы точек плиты;
 q – нормальная к срединной плоскости и распределенная по поверхности плиты пригрузка;

K – коэффициент жесткости основания, изменяющийся в зависимости от наличия или отсутствия выработанного пространства;

D – цилиндрическая жесткость плиты;

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}, \quad (2)$$

где h – мощность плиты;

E – приведенный модуль деформации слоистого массива;

μ – коэффициент Пуассона вмещающих пород.

В итоге получают опускания подработанной толщи на уровне верхней границы основной кровли пласта.

Для учета механических свойств всех слоев, составляющих толщу, их величины приводились к срединной плоскости плиты-слоя по следующей зависимости:

$$E = \frac{\sum p_i E_i}{\sum p_i}, \quad (3)$$

где E_i – модуль деформации i -го слоя;

p_i – вес влияния i -го слоя, который находится по формуле

$$p_i = \frac{h_i}{y_i}, \quad (4)$$

где h_i – мощность i -го слоя; y_i – расстояние от центра тяжести i -го слоя до срединной плоскости.

Зависимость, упомянутая выше, позволила учесть свойства всех слоев подработанной толщи. Данная модель учитывает также релаксацию напряжений и ползучесть пород, слагающих подработываемый массив. Это является существенным преимуществом выбранной модели, поскольку динамические процессы проявлений сдвижения горных пород являются выраженными неравновесными физическими процессами и существенно зависят от времени.

Пример расчета параметров зон ПГД приводится для случая одновременной разработки четырех сближенных пластов двумя соседними шахтами. Шахта им. Засядько разрабатывает у восточной границы своего поля три угольных пласта: k_8 , m_3 и l_1 . Существует значительная вероятность того, что поле напряжений вокруг выработанных пространств, сформированных шахтой им. Засядько возмущается очистными работами соседней погашенной шахтой «Красногвардейская».

На рисунке 2 показан совмещенный план горных выработок по двум соседним шахтам.

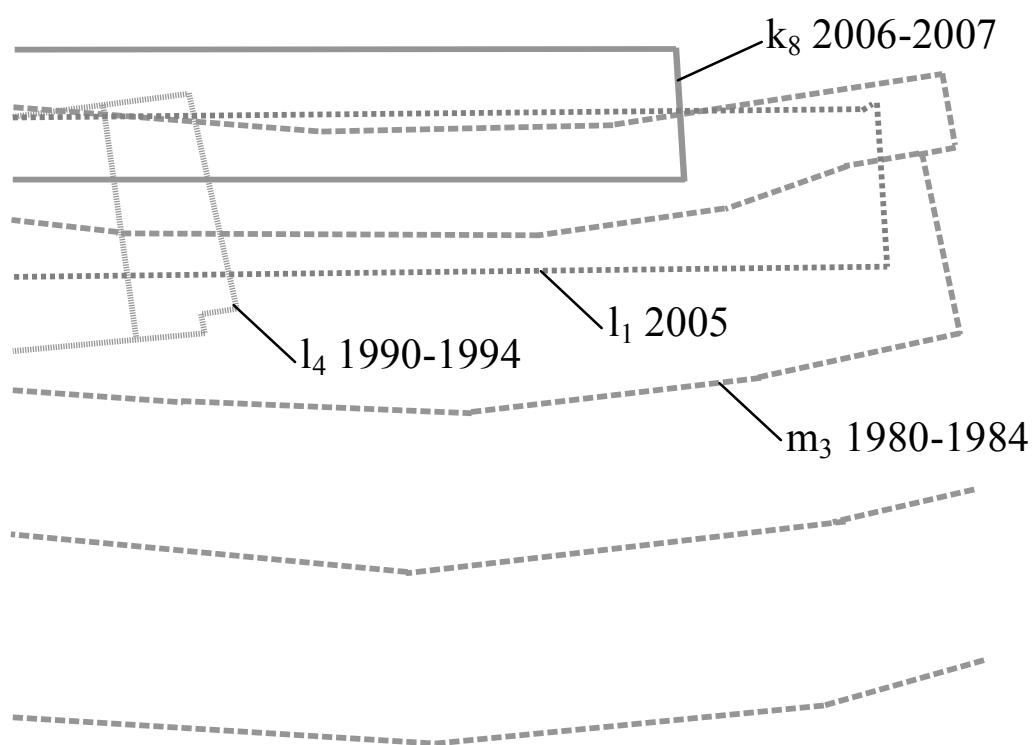


Рис. 2. Схема совмещенного плана горных выработок

Все выработанные пространства, сформированные по всем четырем угольным пластам, были сгруппированы так, чтобы собрать их по периодам отработки. Так, первая группа выработанных пространств собрана из тех, которые отработаны в 70-х годах, вторая в первой половине 80-х и так далее, вплоть до настоящего момента. Чем ближе к текущей дате, тем точнее группируются выработанные пространства. Это значит, что последние выработанные пространства введены от каждой лавы, отра-

ботанной в течение 2005-2007 года. Все выработанные пространства собраны в 11 групп, включающих 23 лавы. Эти группы вводились в расчетную схему в ретроспективном порядке, то есть в том порядке, в котором они отрабатывались в реальности. Таким образом, моделировалась реальная очередность отработки всех лав, что дало возможность адекватно описать сложную конфигурацию выработанного пространства, формируемого по всем сближенным пластам.

На рисунке 3 показана эволюция напряженного состояния массива в плоскости угольного пласта l_1 . При этом из 11 распределений выбраны только характерные этапы, на которых картина распределения горного давления менялась весьма существенно.

Характерными признаками распределения являются пиковые значения концентрации вертикальной компоненты напряжений с величиной концентрации более 3. Анализ показывает, что эти пики приурочены к областям наложения зон опорного давления на сближенных угольных пластах.

Вторая характерная черта распределений относится к зонам разгрузки, которые связаны с отдельными выработанными пространствами, или с комбинациями выработанных пространств на соседних пластах, при которых эти выработанные пространства совмещены в горизонтальной проекции.

Третья особенность связана с релаксационными процессами, которые приводят к сглаживанию градиентов горного давления во времени. В результате этого пики концентрации напряжений сглаживаются с течением времени, а степень разгрузки уменьшается.

На рисунке 4 показаны характерные этапы, на которых выделены только зоны ПГД. Сопоставление распределений зон ПГД показывает, что конфигурация зон ПГД, их размеры и величина концентрации напряжений меняется по мере развития очистных работ во времени и пространстве.

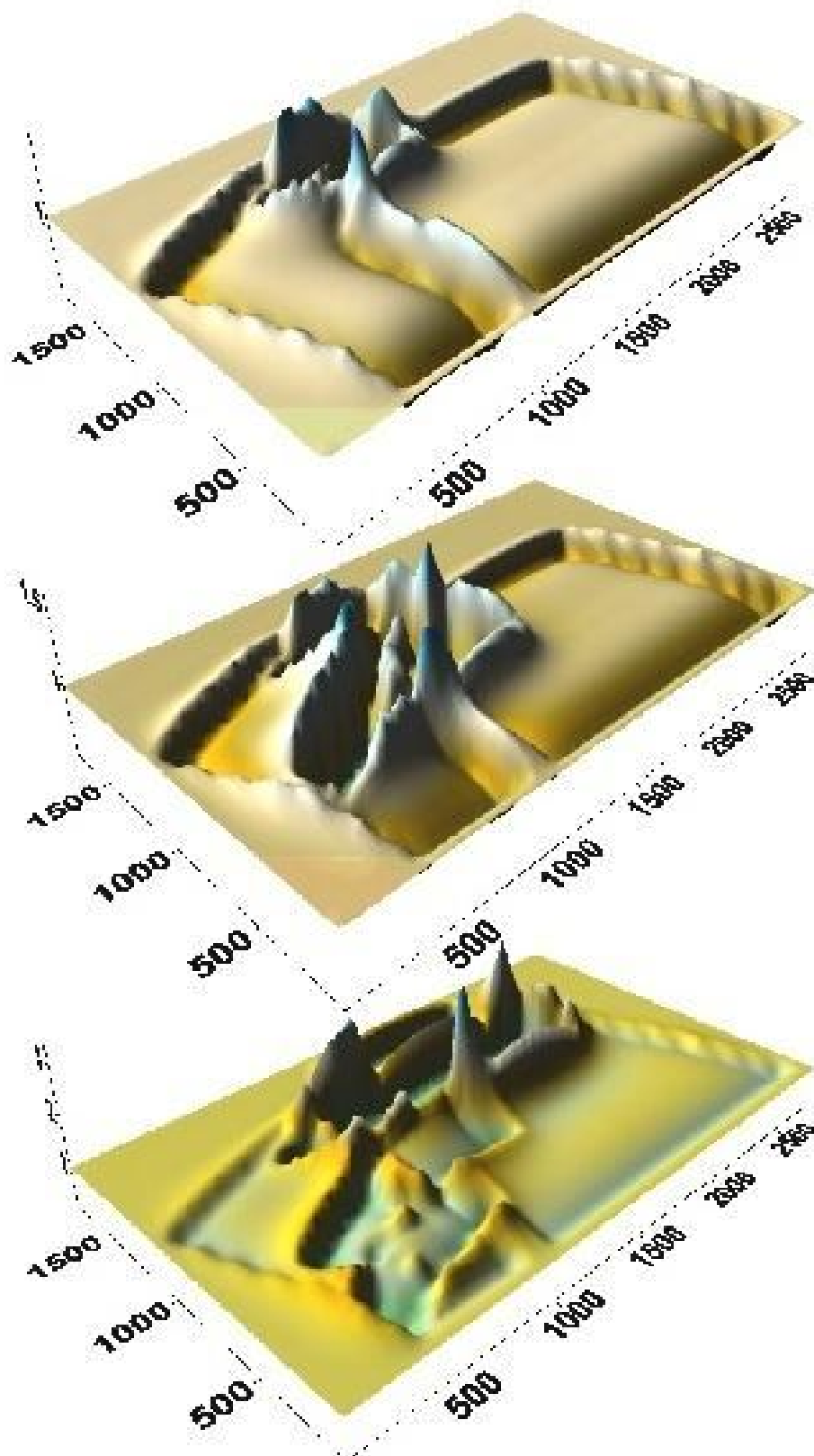


Рис. 3. Эволюция распределения горного давления в плоскости пласта l_1

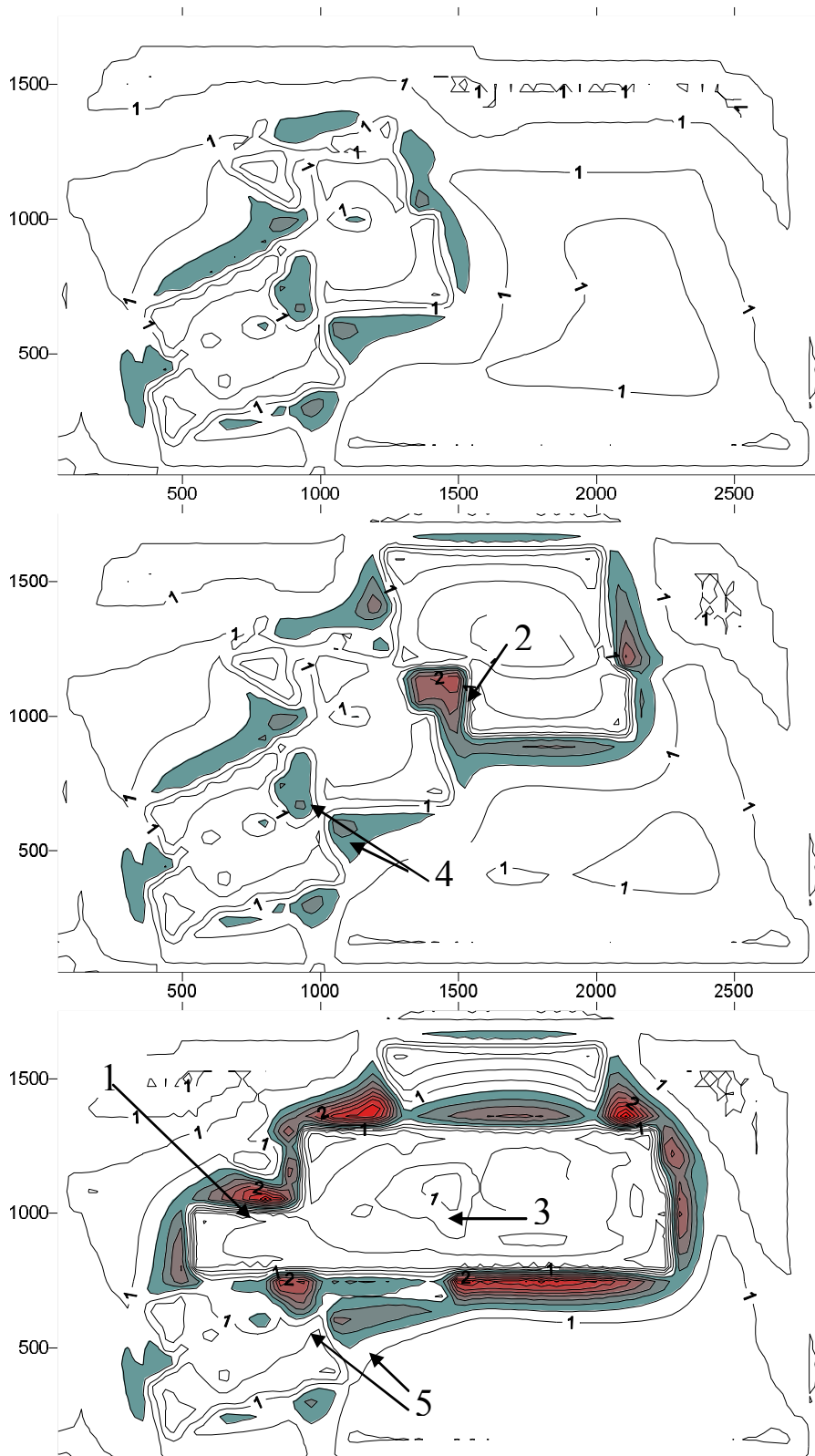


Рис. 4. Характер видоизменения зон ПД в процессе развития очистных работ в сближенных пластах

При этом в зависимости от соотношения выработанных пространств во времени и пространстве на одном и том же участке анализируемой плоскости (в данном случае пласта l_1) могут возникать зоны ПГД, зоны разгрузки или ничего не изменяться. На текущий момент наиболее высокая концентрация напряжения обусловлена, как правило, выработанным пространством, которое отработано последним на пласте, в плоскости которого производится расчет. Так на данный момент максимальная концентрация напряжений, равная 3,17, приурочена к угловому участку краевой части пласта l_4 в точке 1. Анализ совмещенного плана горных выработок свидетельствует, что указанный максимум обусловлен не только концентрацией напряжений от выработанного пространства в собственном пласте, но и наложением зон опорного давления в смежном угольном пласте.

Характерна также тенденция к некоторому запоминанию зон повышенной концентрации напряжений. Так на предыдущем этапе в центре анализируемого участка действовало повышенное горное давление. В точке 2 концентрация горного давления составляла 2,19. Данная область ПГД обусловлена наложением зон опорного давления от выработанных пространств, оставленных на пласте k_8 и пласте l_4 . После надработки этого участка 12-й восточной лавой пласта l_1 зона ПГД исчезла, однако на этом месте напряжения близки к геостатическому уровню (см. точку 3 на нижнем фрагменте рис. 4). Форма изолиний горного давления явно совпадает с формой зоны ПГД на среднем фрагменте в окрестности точки 2. Это свидетельствует о некоторой наследственности процесса перераспределения напряжений при развитии очистных работ в свите сближенных угольных пластов. Такая наследственность экспериментально доказана в работах [3, 4, 5]. В цитируемых источниках показано, что на тех участках угольного пласта, где ранее в течение двух лет и дольше действовала зона ПГД, после надработки сохраняется вероятность газодинамических явлений. Таким образом, полученные результаты численного моделирования согласуются с выводами, сделанными ранее.

Характерна также еще одна закономерность, которая имеет место при развитии очистных работ в свите сближенных пластов.

В процессе формирования новых выработанных пространств, ранее существовавшие зоны ПГД на собственном и сближенных пластах имеют тенденцию увеличивать концентрацию напряжений. Об этом можно судить по сравнению зон ПГД (точки 4 и 5) на среднем и нижнем фрагменте распределений рисунка 4. Главное условие этого эффекта состоит в том, чтобы новое выработанное пространство не перекрывало ранее действующие зоны ПГД. Другими словами эти зоны не должны над- или подрабатываться новой лавой. Данный эффект также отражает процесс наследования при перераспределении горного давления при развитии очистных работ.

Для проверки достоверности полученных результатов применялся известный подход, при котором величина концентрации напряжений в зонах ПГД сравнивалась со скоростью конвергенции на контуре подготовительных выработок. Для этого использовались результаты мониторинга конвергенции на контуре подготовительных выработок, пройденных по пласту l_1 в окрестности 12-й восточной лавы. Это были конвейерные штреки, уклоны и заезды на указанные выработки. Для сопоставимости результатов инструментальных наблюдений все замерные станции приводились к одинаковым условиям по прочности вмещающих пород. За эталон принимались станции, заложенные в пластовых выработках. Результаты наблюдений, выполненные в полевых выработках, корректировались путем умножения коэффициента подобия, равного соотношению средневзвешенной прочности вмещающих пород. Так, например, при увеличении прочности боковых пород в полевом заезде в 2,5 раза по сравнению с прочностью боковых пород пластового конвейерного штрека, скорость конвергенции боковых стенок выработки увеличивалась в соответствующее количество раз. Это дало возможность сопоставить результаты компьютерного моделирования с данными шахтных инструментальных наблюдений.

В таблице 1 приведены результаты сопоставления величины концентрации горного давления и скорости конвергенции боковых стенок выработок в соответствующих точках. Все выработки находились примерно на одной глубине в районе 12-й восточной

лавы, что дало возможность сопоставлять данные измерений и моделирования.

Таблица 1

Результаты сопоставления расчетной концентрации горного давления и измеренной скорости конвергенции на контуре подготовительных выработок

Этап развития очистных работ	Концентрация горного давления в зоне ПГД	Приведенная скорость конвергенции, мм/сут	Соотношение концентрации/скорость
9	0,27	0,2	1,35
10	1,84	1,1	1,67
11	1,59	0,7	2,27
11	2,33	1,9	1,23

Средняя величина соотношения величины концентрации к скорости конвергенции составила $1,63 \pm 0,47$. Это значит, что коэффициент вариации результатов сопоставления равен 28 %, что можно считать вполне приемлемым. Это свидетельствует о достоверности результатов моделирования и надежности сделанных выводов.

ВЫВОДЫ

Развитие очистных работ в свите сближенных пластов сопровождается определенными закономерностями наследования в эволюции зон ПГД при развитии очистных работ в свите сближенных пластов. Это наследование проявляется в том, что при над- и подработке мест высокой концентрации напряжений (более 2,5) в выработанном пространстве под- или надрабатывающей лавы остается зона, которая сохраняет конфигурацию бывшей зоны ПГД и в которой горное давление близко к геостатическому уровню. Если ранее существовавшие зоны ПГД на собственном или смежном сближенном пласте не попадают под плоскость или над плоскостью проекции нового выработанного пространства, в указанных зонах концентрация возрастает в 1,1-2,1 раза после формирования нового выработанного пространства. Полученные закономерности позволяют более обоснованно пла-

ниривать горные работы для обеспечения безопасных условий подземной разработки месторождений.

Список литературы

1. КД 12.01.01.201-98. Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. Методические указания. 1998.
2. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. – М.: Недра, 1981. – 288 с.
3. Gilbride L.J., Hardy M.P. Interpanel barriers for deep western u.s. longwall mining/ 33rd International Conference on Ground Control in Mining, Morgantown, West Virginia, USA, August 3–5, 2012. Pp. 67-72.
4. Ильяшов М.А. Безопасная разработка свит угольных пластов, склонных к газодинамическим явлениям, в зонах повышенного горного давления. – Донецк: Донбасс, 2008. – 175 с.
5. Chen J. Mishra M. Longwall mining-induced abutment loads and their impacts on pillar and entry stability. Proceedings of the 34 International Conference on Ground Control in Mining, August 6-8, 2013, Morgantown, West Virginia:11-17

Стаття надійшла до редакції 05.09.2014.

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук С.В. Борщевським

К.В. Бабенко

Український державний науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут гірничої геології, геомеханіки і маркшейдерської справи, м. Донецьк

Згідно результатів комп'ютерного моделювання перерозподілу гірського тиску в процесі розвитку очисних робіт в свиті зближених вугільних пластів встановлено ефект наслідування, який полягає у збереженні форми зони ППТ після її безпосередньому під- або надпрацюванні та збільшенні коефіцієнту концентрації напружень при побічному під- або надпрацюванні.

Ключові слова: гірський тиск, свита пластів.

K.V. Babenko

Ukrainian State Research and Design Institute of Mining Geology, Geomechanics and Mine Surveying, Donetsk

ABUTMENT ZONES EVOLUTION DUE TO MULTIPLE SEAMS EXTRACTION

Computer simulation was used to find new post effect due to gob expand-

ing at contiguous coal seams. Direct over- and under mining of abutment zones save the shape of these zones but reduce stress concentration down to 1. Indirect under and over mining activate stress concentration.

Keywords: abutment zone, mutypse seam eaxtraction.