

7. Шевцов Н.Р., Лабинский К.Н., Калякин С.А. Обоснование эффективной длины донно-устьевой гидрозабойки // Наукові праці ДонНТУ: Серія гірничо-геологічна. Випуск 54. — Донецьк, ДонНТУ, 2003. — С. 115–123.

8. Лабинский К.Н. Обоснование эффективной длины донной гидрозабойки // Материалы международной студенческой научно-технической конференции “Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений”. — Донецк: ООО “Норд Компьютер”, 2003. — С. 29–32.

© Борщевский С.В., Лабинский К.Н., Лабинский Н.Н., 2005

УДК 622.1:622.834

Инж. НАЗИМКО Е.В. (ДонНТУ)

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ СДВИЖЕНИЙ НАД ДЛИННЫМИ ОЧИСТНЫМИ ЗАБОЯМИ ПРИ БОЛЬШИХ ТЕМПАХ ИХ ПОДВИГАНИЯ

Современная рыночная экономика предъявляет новые требования к угольной промышленности, одним из которых является необходимость повышения интенсивности добычи угля и производительности очистных работ в несколько раз. Именно поэтому темпы подвигания длинных очистных забоев на современных угольных шахтах увеличились с 50–70 до 150–200 м/мес. Типичными примерами являются шахты им. А.Ф.Засядько, «Красноармейская-Западная №1», «Краснолиманская», им. Вахрушева и многие другие угледобывающие предприятия, которые устойчиво удерживаются на рынке угля в Украине и в СНГ. Эта тенденция распространилась от угледобывающих стран, в которых давно действует рыночная экономика и, прежде всего, США, Австралии, Польши и др. Длинные очистные забои в этих странах обеспечивают при мощности пласта 1,6–2,5 м по 20–30 тыс. тонн угля в сутки и подвигаются со скоростью 200–400 м/мес. и более. В таких условиях возникают особенности динамических сдвижений подработанной толщи и земной поверхности, которые ранее не проявлялись в явном виде при умеренных темпах подвигания. Необходимость изучения таких особенностей подчеркивается во многих современных зарубежных [1–15] и отечественных [16, 17] публикациях.

Согласно опубликованным данным, упомянутым выше, главные особенности динамических сдвижений подработанной толщи и земной поверхности заключаются в следующем.

Мульда сдвижений земной поверхности выполаживается и растягивается в пространстве вслед за подвиганием очистного забоя.

- Время оседаний земной поверхности изменяется.
- Процесс динамических сдвижений сопровождается сейсмическими событиями, именуемыми треморами, которые регистрируются как в подработанной толще, так и на земной поверхности.
- Возникают временные поднятия земной поверхности, которые на порядок превышают погрешность измерений вертикальных перемещений.

Первая особенность является в целом благоприятной с точки зрения охраны наземных сооружений и земной поверхности, поскольку при растягивании процесса оседания земной поверхности в пространстве уменьшаются ее наклоны, кривизна и горизонтальные деформации. Третья особенность, по мнению большинства специалистов, носит негативный характер, поскольку вызванные искусственно сейсмические колебания земной поверхности представляют опасность для сохранности наземных сооружений. Вторая и четвертая особенности не достаточно исследованы и поэтому сложно дать им характеристику

с точки зрения влияния на земную поверхность. В данной статье дается анализ особенностей динамических проявлений сдвижений подработанной толщи по результатам исследований автора и экспериментальным данным зарубежных источников.

Согласно [1–16], частота и энергия сейсмических колебаний массива, вызванных работой быстроподвигающихся очистных забоев, определяется глубиной разработки, вынимаемой мощностью пласта, способом управления кровлей, скоростью подвигания очистного забоя, его длиной, площадью общего выработанного пространства с учетом примыкающих ранее отработанных лав. Ряд авторов выдвигают гипотезу о том, что сейсмические события вызываются в ходе обрушения прочных слоев песчаника и поэтому предлагают выделять отдельные слои прочных пород типа песчаников, которые способны висеть на большой площади и вызывать после обрушения сейсмические события. Авторы работы [4] предлагают делать прогноз сейсмических событий по параметрам динамической мульды сдвижений. В настоящее время этот метод прока совершенствуется для повышения точности определения границ области, в которой сейсмические колебания превысят допустимый безопасный уровень. При этом учитывается пространственное распределение деформаций в пределах мульды сдвижений и связь его с возможными сейсмическими колебаниями толщи горных пород, а также временная связь между возникновением деформаций и последующих сейсмических событий. При этом предпринимается попытка связать распределение относительных деформаций земной поверхности с плотностью сейсмических событий, измеряемой в $1/10000 \text{ м}^2$ или с плотностью сейсмической энергии, которая измеряется в Дж/м^2 земной поверхности или в Дж/м^3 толщи горных пород. Следует подчеркнуть, что в качестве индекса деформации массива принимается комплексная величина, учитывающая как накопленную деформацию, так и ее скорость в данный момент времени.

Показатель или индекс деформаций земной поверхности авторы принимают в виде наклонов и вертикальных деформаций толщи. При этом горизонтальные деформации игнорируются в связи с тем, что погрешность их определения на порядок выше. На наш взгляд это существенная ошибка, поскольку как раз горизонтальные деформации являются одной из основных причин разрушения массива горных пород от растягивающих напряжений. Согласно теории Кулона-Мора горные породы разрушаются от растяжения или среза. В связи с этим более точную характеристику предельного состояния массива горных пород и, наносов в частности, можно получить на основе учета касательных и нормальных напряжений, возникающих в подрабатываемой толще или в наносах вблизи земной поверхности. В связи с этим более подходящими характеристиками будут наклоны, растяжения, а также деформации скручивания и среза. Индексы деформирования массива определяются для всех мощных слоев песчаника, которые залегают в над- и подрабатываемой толще.

Несмотря на сделанные допущения, авторы получили достаточно хорошую сходимость между фактически зарегистрированными сейсмическими событиями и прогнозными их распределениями для условий отработки угольного пласта 703/1-2 на шахте «Марсель». Фрагмент плана горных выработок, совмещенных с зарегистрированными сейсмическими событиями с энергией, превышающей 10^5 Дж , показан на рис. 1. Мощность пласта составляла 2,5 м, угол наклона 5° . Глубина работ 900 м, длина лавы 250–280 м. В подрабатываемой толще залегало несколько мощных слоев песчаника, включая слой мощностью 18 м в кровле пласта на расстоянии 4 м и мощностью 70 м на расстоянии 200 м выше кровли отработываемого пласта. Мониторинг сейсмической активности массива горных пород в данном месте производился с 1993 по 1998 год. Именно в это время отработывался блок лавами М1-М8. Всего за период инструментальных наблюдений было зарегистрировано 6200 событий суммарной энергией $1,6 \cdot 10^8 \text{ Дж}$. (табл. 1).

Табл. 1. Распределение числа сейсмических событий по величине энергии, выделившейся во время обрушения породных слоев [Биалек]

Уровень энергии, Дж	Число событий	Суммарная выделившаяся энергии, Дж
10^2-10^3	4199	$1,6 \times 10^7$
10^4	1903	$7,3 \times 10^7$
10^5	86	$3,5 \times 10^7$
10^6	12	$3,7 \times 10^7$
Всего	6200	$1,6 \times 10^8$

На рис. 1 кружками наименьшего радиуса отмечены события с энергией выше 10^5 Дж. Чем больше диаметр кружка, тем выше уровень энергии конкретного сейсмического события.

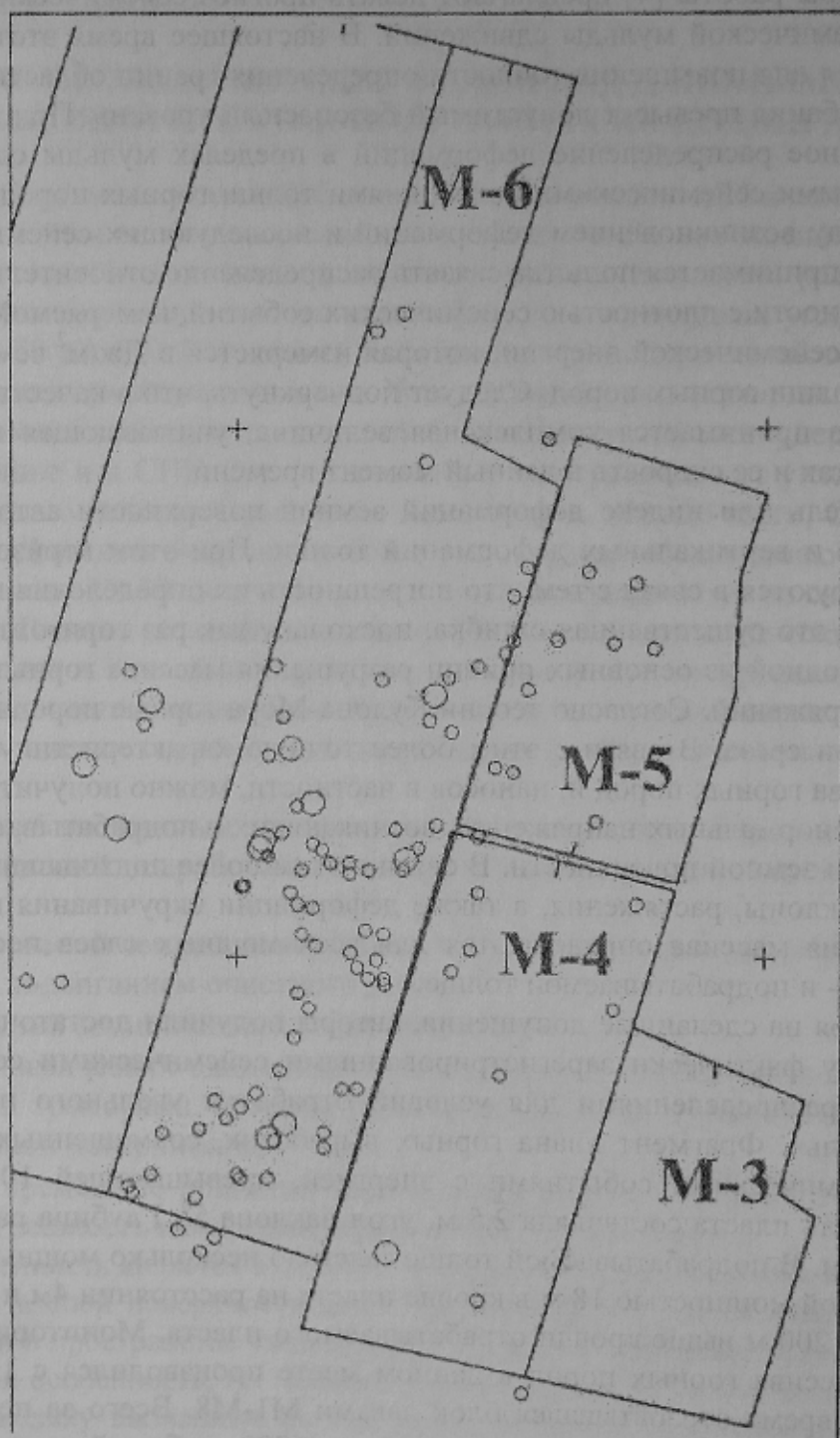


Рис.1. Совмещенный план контура очистных работ с точками регистрации сейсмических событий в процессе отработки лав М4-М6 [18]

На рис. 2 а показаны карты плотности сейсмических событий, зарегистрированных инструментально в процессе отработки лав М4-М6, а на фрагменте (б) приведена прогнозная оценка плотности таких событий. Плотность событий определялась в числе событий на гектар площади прогноза (100 на 100м). Как следует из рис. 2, результаты прогнозной оценки достаточно хорошо согласуются с фактически измеренными данными. Максимальная плотность сейсмических событий 150–200 треморов/га отмечена над выработанными пространствами лав М5 и М6. Авторы статьи не объясняют эту закономерность. Однако анализ фрагмента плана горных выработок свидетельствует о следующем.

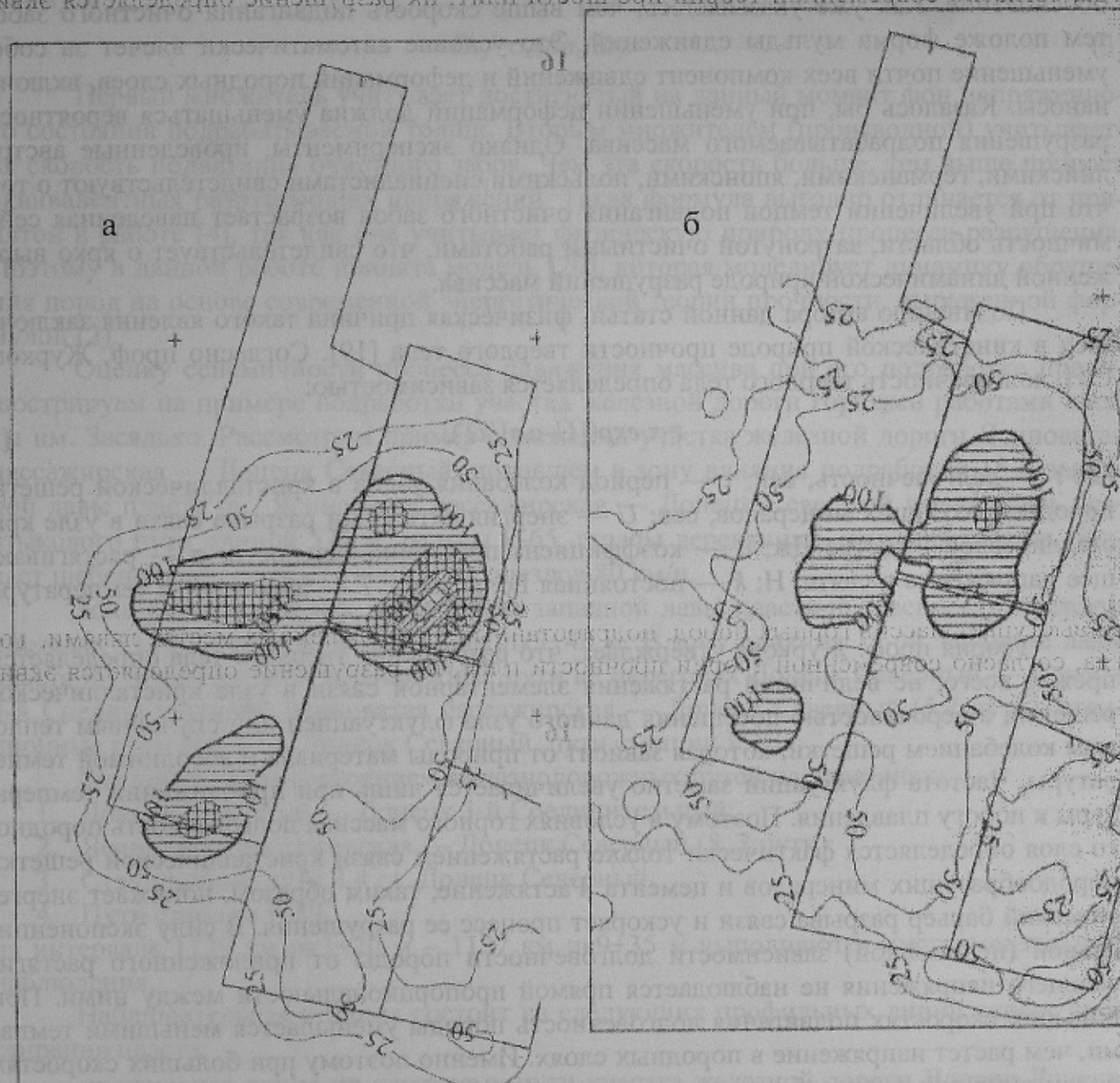


Рис.2. Экспериментальное (а) и прогнозное (б) распределение плотности сейсмических событий [18]

При отработке лавы М6 произошло увеличение минимального размера сплошного выработанного пространства до 820 м, что сопоставимо с глубиной разработки. Известно, что при таком соотношении минимального размера сплошного выработанного пространства с глубиной разработки наступает условие полной подработки земной поверхности, в результате чего процесс сдвижений изменяется качественно. Именно в

этот момент происходит наиболее интенсивное разрушение и сдвигание подрабатываемой толщи пород.

Характерно, что максимальная доля площади наибольшей плотности сейсмических событий отмечена как раз над выработанным пространством лавы М6. Это усиливает достоверность полученных результатов и правомерность выдвинутой авторами статьи [18] гипотезы.

Следует отметить, что авторы работы [4] сделали верный методический подход при определении индекса деформированности массива в виде произведения накопленной деформации на текущую скорость ее изменения. Этот индекс имеет физическое обоснование. Как уже указывалось, чем выше скорость подвигания очистного забоя, тем полнее форма мульды сдвижений. Это условие автоматически влечет за собой уменьшение почти всех компонент сдвижений и деформаций породных слоев, включая наносы. Казалось бы, при уменьшении деформаций должна уменьшаться вероятность разрушения подрабатываемого массива. Однако эксперименты, проведенные австралийскими, германскими, японскими, польскими специалистами свидетельствуют о том, что при увеличении темпов подвигания очистного забоя возрастает наведенная сейсмичность области, затронутой очистными работами, что свидетельствует о ярко выраженной динамической природе разрушений массива.

По мнению автора данной статьи, физическая причина такого явления заключается в кинетической природе прочности твердого тела [19]. Согласно проф. Журкову С.Н. долговечность твердого тела определяется зависимостью:

$$t = \tau \exp([U - \alpha\sigma]/kT), \quad (1)$$

где t — долговечность, сек; τ — период колебания узлов в кристаллической решетке порообразующих минералов, сек; U — энергия активации разрыва связи в узле кристаллической решетке Дж; α — коэффициент пропорциональности; σ — растягивающее напряжение в связи, Н; k — постоянная Больцмана; T — абсолютная температура, К.

Теория проф. Журкова утверждает, что разрушение твердого тела определяется, прежде всего, не величиной растяжения элементарной связи в узле кристаллической решетки, а вероятностью посещения данного узла флуктуацией или случайным тепловым колебанием решетки, которая зависит от природы материала и абсолютной температуры. Частота флуктуации заметно увеличивается лишь при приближении температуры к порогу плавления. Поэтому в условиях горного массива долговечность породного слоя определяется фактически только растяжением связи кристаллической решетки порообразующих минералов и цемента. Растяжение, таким образом, понижает энергетический барьер разрыва связи и ускоряет процесс ее разрушения. В силу экспоненциальной (нелинейной) зависимости долговечности породы от приложенного растягивающего напряжения не наблюдается прямой пропорциональности между ними. При больших скоростях подвигания долговечность породы уменьшается меньшими темпами, чем растет напряжение в породных слоях. Именно поэтому при больших скоростях подвигания очистных забоев резко увеличиваются пролеты зависания прочных породных мостов песчаника. В результате они накапливают значительную потенциальную энергию деформации, которая необратимо высвобождается в результате обрушения этих слоев, что и регистрируется сейсмическими наблюдениями.

Разрушающее напряжение формируется согласно теории Кулона-Мора из совокупного действия растягивающих и касательных деформаций. Слой песчаника можно представить в виде плиты, покоящейся на неоднородном основании, в качестве которого выступает массив горных пород, подработанный в определенных местах лавами. Тогда, согласно современной теории прочности плит, их разрушение определяется экви-

валентными напряжениями, которые учитывают как растягивающую, так и касательную компоненты:

$$\sigma_e = \sqrt{(\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2)}, \quad (2)$$

где σ_e — эквивалентное напряжение; σ_x или σ_y — нормальные растягивающие напряжения, действующие в плите-слое в направлении x и y соответственно; τ_{xy} — касательные напряжения.

Общий индекс деформированности массива Def можно определить тогда по формуле:

$$Def = \sigma_e (d\sigma_e / dt). \quad (3)$$

Первый множитель учитывает достигнутый на данный момент фон напряженного состояния подрабатываемой толщи. Вторым множителем (производной) учитывается скорость подвигания очистного забоя. Чем эта скорость больше, тем выше прирост эквивалентных разрушающих напряжений. Такая формула выгодно отличается от принятой в работе [4], так как она учитывает физическую природу процесса разрушения. Поэтому в данной работе принята модель [20], которая моделирует динамику обрушения пород на основе современной энергетической теории прочности, выраженной формулой (2).

Оценку сейсмичности процесса сдвижения массива при его подработке проиллюстрируем на примере подработки участка железной дороги горными работами шахты им. Засядько. Рассмотрим пример сдвижений участка железной дороги Ясиноватая пассажирская — Донецк Северный, попавшем в зону влияния подработки 15-й западной лавы пласта m_3 . Ясиноватая пассажирская — Донецк Северный имеет плеть бесстыкового пути длиной 574 м, рельсы Р-65, шпалы деревянные, железобетонные, балласт щебеночный, скорость движения поездов 80 км/ч.

Зона влияния горных работ 15-ой западной лавы пласта m_3 распространяется в пределах 1129 км ПК3+10 м — 1127 км ПК9+40 м. В зону влияния 15-ой западной лавы пласта m_3 попадают железнодорожные пути на перегонах Донецк Северный — Донецк 3-й Соединительный, Ясиноватая пассажирская — Донецк Северный (5,7 пути), станционные пути №3, 4 ст. Донецк Северный, пути станции РЭД.

Для контроля за состоянием железнодорожных путей на перегонах:

1. Донецк Северный — Донецк 3-й Соединительный;
2. Ясиноватая пассажирская — Донецк Северный (5, 7 пути);
3. Станционные пути 3,4 ст. Донецк Северный;
4. Пути станции РЭД

на интервале 1129 км ПК3+20 м — 1127 км ПК9+35 м выполняются инструментальные наблюдения.

Наблюдательная станция состоит из следующих профильных линий вкрест простирания пласта:

— профильная линия по нечетному пути участка железной дороги Донецк-Донецк Северный 1129 км ПК8 + 45 м — 1127 км ПК8 + 70 м;

— три профильные линии по путям № 11, 17, 27 станции РЭД.

Длина профильной линии рассчитана согласно «Правил охраны...».

Так как со стороны восстания пласта имеются горные работы 14-ой западной лавы пласта m_3 , процесс сдвижения от которой не закончился, то рабочая часть профильной линии со стороны восстания пласта ограничивается углом $\gamma - \Delta\gamma$, $\gamma = 80^\circ$, $\Delta\gamma = 20^\circ$, $\gamma - \Delta\gamma = 60^\circ$. В наносах рабочая часть профильной линии определяется по углу $\psi_1 = 52^\circ$.

Существующая наблюдательная станция привязана к пункту полигонометрии I разряда № 8771, который расположен возле стадиона «Монолит» по пр. Киевскому. Отметка пункта № 8771 252.236 м.

На каждой профильной линии заложены опорные и рабочие реперы.

Опорные реперы расположены вне зоны влияния горных работ. Рабочие реперы наблюдательной станции накернены на железобетонных троллейных опорах. Пикеты наблюдательной станции — метки на рельсовом пути, которые нанесены через 20 м.

Абсолютные отметки пикетов и реперов наблюдательной станции определяются методом технического нивелирования. Нивелирование производится нивелиром Н-3КЛ из середины при расстояниях от нивелира до реек не более 75 м. Наблюдения за сдвижением рельсового пути проводится по пикетам наблюдательной станции и напротив рабочих реперов по рельсовому пути. На каждой станции отсчеты на реперах берут по черной и красной сторонам реек. Расстояния между двумя реперами измеряются стальными компарированными рулетками в двух направлениях.

Материалы наблюдений после окончания каждой серии наблюдений подвергаются аналитической и графической обработке.

Угольный пласт m_3 марки «Ж», коксующийся. Пласт двухпачечного строения. Геологическая мощность пласта изменяется от 1.76 до 2.24 м. Выемочная мощность пласта 2.05 м. Пласт опасен по газу, пыли, суфлярным выделениям метана, по внезапным выбросам угля и газа.

Непосредственная и основная кровля представлена слоистым аргиллитом мощностью от 10.5 до 19.2 м. Непосредственная и основная почва представлена толсто-слоистым алевролитом мощностью от 17 до 20 м.

Залегание пласта пологое. Угол падения изменяется от 5° в центральной части столба до 10° – 14° в западной части.

Горно-геологические параметры отработки 15-ой западной лавы:

- средняя глубина разработки 1278 м;
- вынимаемая мощность 2.05 м;
- угол падения пласта 9° ;
- месячное подвигание забоя лавы 130 м/мес;
- длина лавы 240 м;
- система разработки — длинными столбами по простиранию обратным ходом;
- способ управления кровлей — полное обрушение.

Толща над пластом в месте его разработки представлена песчано-глинистыми осадочными породами. Подработанная толща состояла на 18% из аргиллитов, на 36% из алевролитов, на 34% из песчаников, остальное угольные пласты. Заметим, что процент песчаников весьма значителен.

Пласт отрабатывался лавой без оставления целиков длиной 250 м с полным обрушением кровли. Ближайшие очистные работы находились на смежных вышележащих пластах на расстоянии 6 выемочных полей или 1300 м и не оказывали влияния на сдвижение поверхности на участке наблюдений.

На рис. 3 показаны результаты нивелировки профильной линии.

Из данных, приведенных на рис. 3 следует, что в течение всего времени наблюдений толща находилась в состоянии активных сдвижений. При этом максимум оседаний земной поверхности находится примерно над границей выработанных пространств 15-й и смежной с ней 14-й западной лав. По сути, измерены последствия активизации сдвижений толщи и земной поверхности над ранее выработанными пространствами и пространством действующей 15 западной лавы. Левое крыло мульды (со стороны восстания) в отдельные моменты активных сдвижений заметно поднято относительно исходного положения профильной линии, а правое (со стороны падения) опущено. При

этом поднятие левого крыла мульды носит закономерный характер и не может трактоваться как случайное явление, поскольку поднятие составляет 20–40 мм при величине 95-процентного доверительного интервала ± 15 мм. Единичные выбросы (особенно в сторону минуса) обусловлены либо случайным повреждением реперов, либо тем, что коренные породы с наносами перемещались в виде блоков, на границах которых и зарегистрированы такие скачки. Такие скачки неоднократно экспериментально зарегистрированы на шахтах Южного Донбасса, где залегают мощные мергелевые и достаточно прочные наносы.

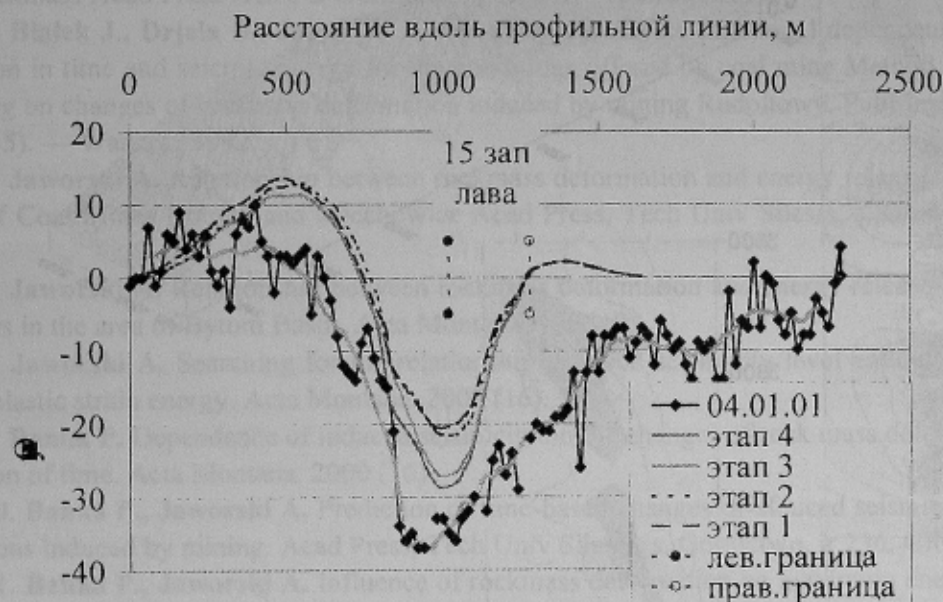


Рис. 3. Характер эволюции мульды в процессе развития сдвижений

Совместный анализ результатов многократной нивелировки профильной линии и структурного строения толщи в месте ее подработки показал, что подъем и опускание правой части мульды происходил несколько раз, что вызвано периодическим зависанием и обрушением песчаника мощностью 54 м, залегающего на глубине 400 м. В ходе отработки лавы на земной поверхности многократно наблюдались сейсмические события, амплитуда которых иногда доходила до трех баллов по шкале Рихтера. Такие сейсмические процессы вызваны зависанием и обрушением мощных слоев песчаника, залегающих в подрабатываемой толще.

На рис. 4 показано распределение индекса деформированности подрабатываемого массива, вычисленного по формуле (3) для условий отработки 15 западной лавы.

На двух верхних фрагментах рисунка 4 даны плоская и объемная картина распределения индекса. На нижней показано плоское распределение пятен максимальной деформированности, в пределах которых наиболее вероятны сейсмические события. Видно, что области наиболее вероятной сейсмичности располагаются в средней части выработанного пространства лавы при ее отходе от разрезной печи (верхняя часть фрагмента). После отхода лавы на расстояние 800 м пятна вероятного проявления сейсмичности смещаются в правую сторону или к границе с выработанным пространством 14 западной лавы. Это хорошо согласуется с геомеханикой активизации сдвижений толщи при бесцеликовой отработке запасов. После отхода лавы на значительное расстояние процесс активизации сдвижений над ранее выработанным пространством 14 западной лавы набирает максимальную интенсивность. Именно поэтому максимум индекса деформированности массива смещается в сторону этого пространства, хотя ос-

новые динамические события развиваются над выработанным пространством действующей лавы, что хорошо согласуется с данными польских исследователей.

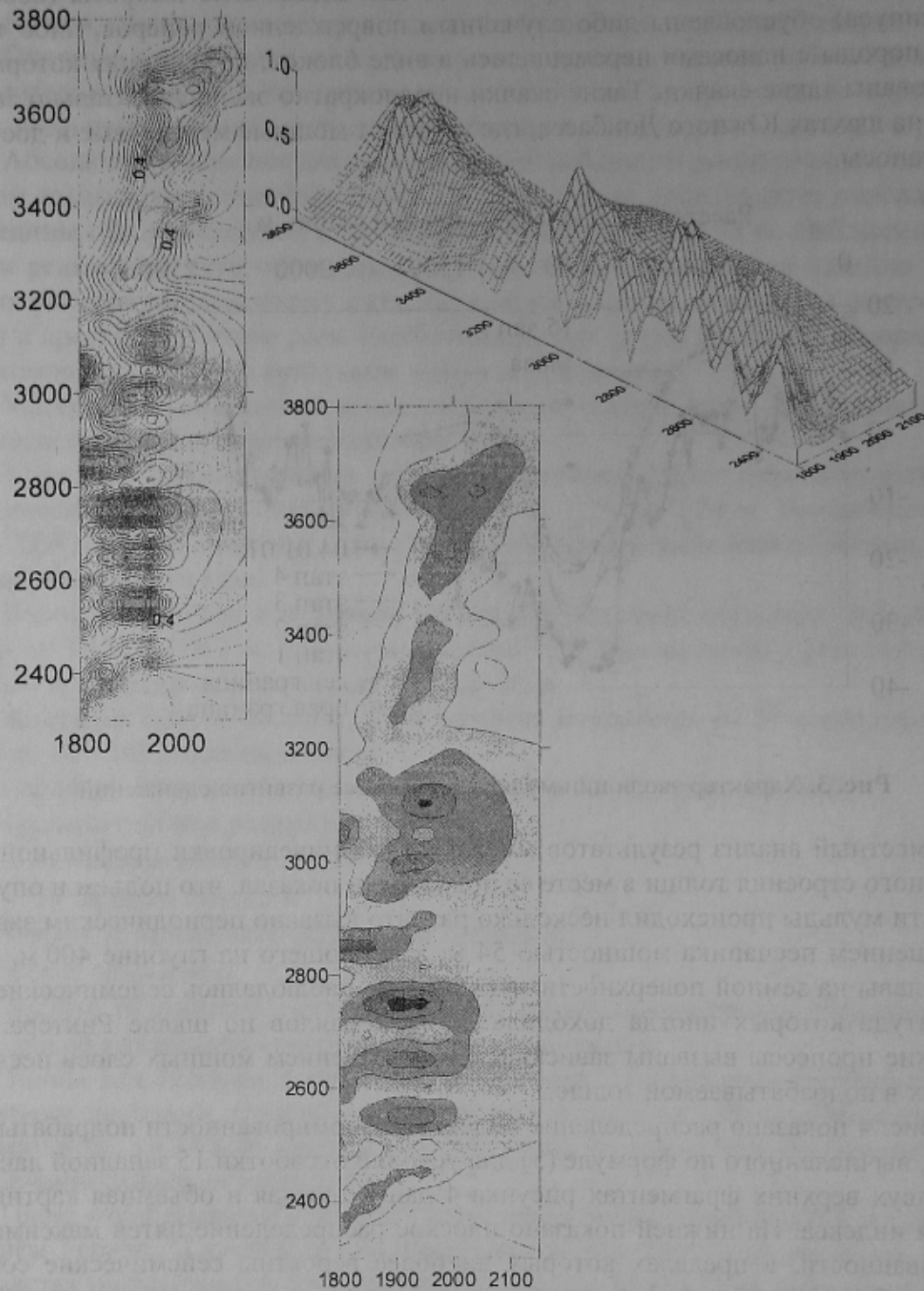


Рис. 4. Прогнозное распределение индекса деформированности (плотности сейсмических событий) при отработке 15-й западной лавы на шахте им. А.Ф.Засядько

Таким образом, получила развитие модель динамических сдвижений толщи над быстро движущимся очистным забоем благодаря учету кинетической природы прочности твердого тела. При этом предложенный индекс деформированности массива более точно отражает связь с вероятным проявлением сейсмичности, вызванным зависанием и обрушением мощных слоев песчаника в окрестности очистного забоя, движущегося со скоростью более 100 м/мес.

Библиографический список

1. **Sroka A., Preuse A.** Effects fo mining on underground infrastructures in the Germsn hard coal sector // 18th Int/ Conf. on Ground Control in Mining.-Morgantown, USA, WV. — Pp. 332–329.
2. **Haycocks C., Karmis M.** Productivity versus ground control, a dynamic interface for retreating longwalls// Int. Colloq. on high performance longwall extraction. — Aachen, 1999. — Pp. 178–185.
3. **Sroka A.** On the problem of Face advance from the view of mining subsidence engineering//Proc. of the underground exploitation school. — Krakov, 1998 — Pp. 15–40.
4. **Bialek J., Jaworski A.** An attempt to assess seismic activity on the basis of predicted deformation state of rockmass Acad Press AGN. s. Gornictwo, jr. 142. — Krakow. 1989.
5. **Bialek J., Drjela B., Jaworski A.** An attempt to define functional dependencies between rockmass deformation in time and seiemic energy for the conditions offered by coal mine Method for description of seismicity basing on changes of rockmass deformation induced by mining Rudoltowy. Publ Inst Geophys Pol Acad Sc M – 16(245). — Warsaw, 1992.
6. **Jaworski A.** Relationship between rockmass deformation and energy release of mining tremors from the area of Coal Mines Bobrek and Miechowice Acad Press, Tech Univ Silesia, s. Gornictwo, jr 225, Gliwice, 1995.
7. **Jaworski A.** Relationship between rockmass deformation and energy release of interdependent mining tremors in the area of Bytom Basin. Acta Montana. 1996 (9).
8. **Jaworski A.** Searching for the relationship between seismicity level and analytically calculated increase of elastic strain energy. Acta Montana. 2000 (16).
9. **Banka P.** Dependence of induced seismicity on the changes of rock mass deformation state defined in the function of time. Acta Montana. 2000 (16).
10. **Banka P., Jaworski A.** Prediction of time-based changes of induced seismicity basing on rockmass deformations induced by mining. Acad Press, Tech Univ Silesia, s. Gornictwo, jr 236, Gliwice, 1997.
11. **Banka P., Jaworski A.** Influence of rockmass deformation on maximum energies of seismic events induced by mining. Acad Press, Tech Univ Silesia, s. Gornictwo, jr 259, Gliwice, 1999.
12. **Knothe S.** Preduction of mining influence. Publ Slask. 1984.
13. **Oncioiu G. Dima N.** Ground surface displacement and deformation // Proc. IV-th commission of ISM. — Krakow, 1998. — Pp. 56–68.
14. **Ковальски А.** Деформация поверхности над быстро подвигающимся фронтом горных работ // Доклады 9 конгресса ISM. — Прага, 1994. — С. 320–329.
15. **Kirsh F-J., Junge J., Sroka A.** Measure taken along mining operations to protect a monument // X Int. congress of the ISM- Fremantle, 1997. — Pp. 381–390.
16. **Гавриленко Ю.Н., Папазов Н.М., Морозова Т.В.** Динамика оседаний земной поверхности при большой глубине разработки и высокой скорости подвигания забоя // Проблемы гірського тиску. — Донецьк: ДонДТУ, 2000. — №4. — С. 108–119.
17. **Кулибаба С.Б.** Об изменении концепции охраны вертикальных шахтных стволов. // Науковi праці Донецького національного технічного університету. Серія: гірничо-геологічна. Вип. 62. — Донецьк, 2003. — С. 121–135.
18. **Bialek J., Banka P., Jaworski A.** Method for description of seismicity basing on changes of rockmass deformation induced by mining // Proc. ISM 12th Int. Cogress.-Fuxin, 2004. — Pp. 470–475.
19. **Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.Е.** Кинетическая природа прочности твердых тел. — М.: Наука, 1974. — 560 с.
20. **Кузяра С.В., Назимко В.В.** Геомеханические основы модели обрушения пород в окрестности движущегося очистного забоя // Проблемы гірського тиску. — Донецьк, ДонНТУ, 2003. — № 10. — С. 158–171.

© Назимко Е.В., 2005