

УДК 622.834

## ДИНАМИКА СДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ БОЛЬШИХ СКОРОСТЯХ ПОДВИГАНИЯ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЕВ

**Звягильский Е.Л., Бокий Б.В., Папазов Н.М., Назимко Е.В.**  
(АП «Шахта им. А.Ф. Засядько», г. Донецк, Украина),  
**Бугара М.И., Коломиец В.А.** (Шахта «Южнодонбасская №1»,  
г. Угледар, Украина),  
**Грищенко Н.Н.** (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

*Встановлено явище багатократного підняття земної поверхні внаслідок відробки пластового родовища довгими очисними вибоями після їхньої зупинки. Запропоновано геомеханічну модель явища та заснований на ній алгоритм розрахунку зрушень земної поверхні.*

*Multiple surface heave has been registered by actual measurement after finishing of coal extraction by a longwall panel. New mathematical model has been developed to simulate ground behavior including undermined surface heave when gob boundaries do not move.*

На угольных шахтах Украины с каждым годом на 10-20 м увеличивается глубина отработки пластов. Запасы угля, вынимаемые на малых и средних глубинах, исчерпываются. С увеличением глубины ведения горных работ проблема оседания земной поверхности не исчезла. Появились неизвестные проявления подработки, связанные с увеличившимися скоростями подвигания очистных забоев. В связи с этим проблема прогноза параметров сдвижения земной поверхности на глубинах более 1000 м при больших скоростях подвигания очистных забоев весьма актуальна.

С внедрением комплексов нового технического уровня скорость подвигания очистных забоев достигает 100 м/мес. и

более. С учетом того, что глубина разработки на таких шахтах, как им. Засядько превысила 1000-1200 м, период активных сдвижений толщи не успевает завершиться. Динамический процесс сдвижений растягивается практически на 4-5 выемочных столбов, поскольку согласно Правилам охраны [1, с.54] процесс активных сдвижений массива горных пород на глубинах свыше 1000 м и скоростях подвигания очистных забоев свыше 70 м/мес. длится 19 месяцев и дольше. Существующие нормативные документы дают прогнозные величины параметров мульды сдвижений, значительно отличающиеся от фактических. Одним из примеров является подработка участка железной дороги горными работами шахты им. А.Ф. Засядько. Рассмотрим пример сдвижений участка железной дороги Ясиноватая Пассажи́рская – Донецк Северный, попавшего в зону влияния подработки 15-ой западной лавы пласта  $m_3$ . Участок Ясиноватая Пассажи́рская – Донецк Северный имеет плетть 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 пассажи́рская – Донецк Северный (5, 7 пути), станционные пути №3, 4 ст. Донецк Северный, пути станции РЭД.

Для контроля за состоянием железнодорожных путей постоянно ведутся инструментальные наблюдения на интервале 1129 км ПК3+20 м – 1127 км ПК9+35 м на перегонах:

- Донецк Северный – Донецк 3-й Соединительный;
- Ясиноватая Пассажи́рская – Донецк Северный (5, 7 пути);
- станционные пути 3,4 ст. Донецк Северный;
- пути станции РЭД.

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 Правилам охраны [1]. Со стороны восстания пласта границу рабочей части профильной линии определяет угол  $\beta - \Delta\beta$ .

Угол  $\beta$  определяется, как  $80^\circ - 0,8*\alpha$ , где  $\alpha$  - угол падения пласта, равный  $9^\circ$ .

Угол  $\Delta\beta$  равен  $18^\circ - 0,15*\alpha$ .

Тогда  $\beta - \Delta\beta = (80^\circ - 0,8*9^\circ) - (18^\circ - 0,15*9^\circ) = 56^\circ$ .

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 1-го разряда №8771, который расположен возле стадиона «Монолит» по пр. Киевскому. Отметка пункта №8771 равна 252,236 м.

На каждой профильной линии заложены опорные и рабочие реперы:

- на линии Донецк – Донецк Северный – Ясиноватая опорными реперами служат опоры электропередач №33, 32 – со стороны восстания пласта и опоры №60, 58 – со стороны падения пласта;
- для путей станции РЭД опорными реперами служат опоры №60, 58.

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-ЗКЛ из середины при

расстояниях от нивелира до рек не более 75 м. Наблюдения за движением 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 рек. Расстояния между двумя реперами измеряются стальными компарированными рулетками в двух направлениях.

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

На рис. 1 приведен фрагмент плана горных работ, совмещенный с планом участка указанной железной дороги. Участок земной поверхности, на котором расположены подрабатываемые железнодорожные пути, находится в северно-западной части горного отвода шахты им А.Ф. Засядько, на территории Киевского района г. Донецка, Ясиноватского района Донецкой области.

В геологическом строении рассматриваемого участка принимают участие отложения свит  $C^1_3$ ,  $C^7_2$ ,  $C^6_2$ ,  $C^5_2$ .

Рассматриваемый участок был подработан ранее горными работами шахты Бутовка-Донецкая по пласту  $n_1$  в 1952-1962 г.г. на глубине от 520-560 м; в центральной части выемочного столба 15-ой западной лавы пласта  $m_3$  – зона размыва по пласту  $n_1$ .

На участке железнодорожного пути Ясиноватая-Донецк, расположенного в зоне влияния 15-ой западной лавы пласта  $m_3$  имеется выход под наносы геологического нарушения Пантелеймоновский надвиг. Угол падения плоскости сместителя  $53^\circ$ .

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.

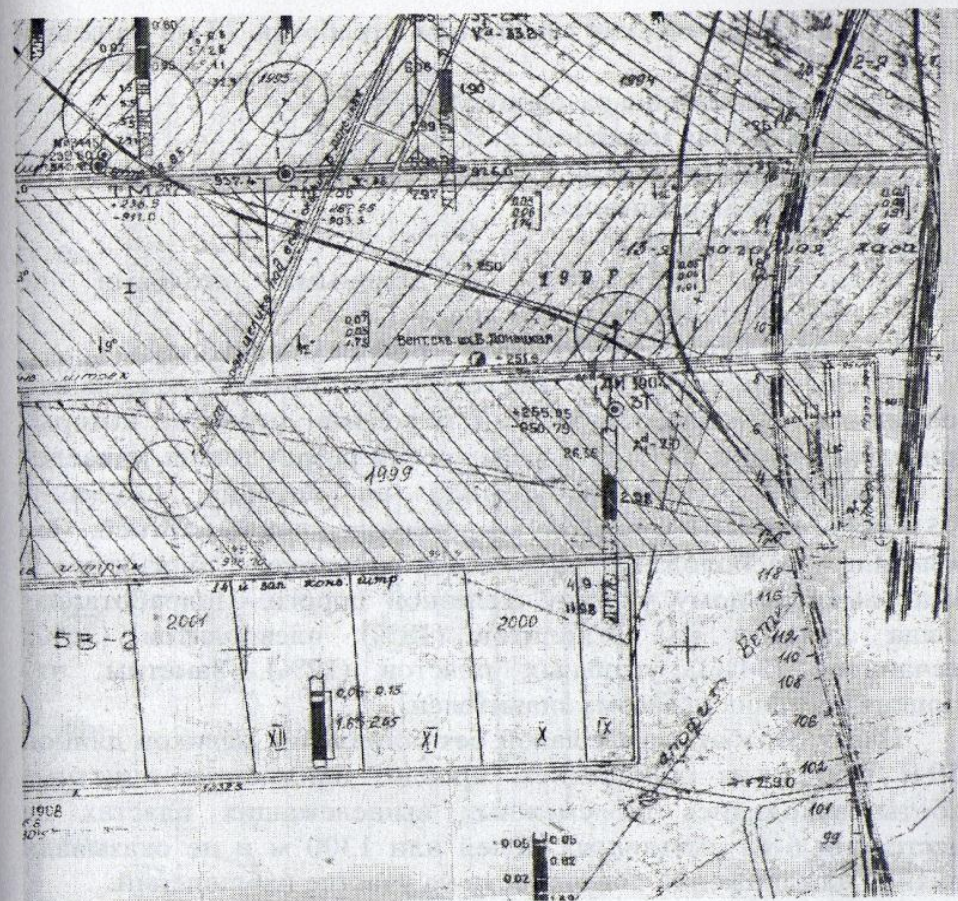


Рис. 1. Фрагмент плана горных работ, совмещенного с участком железной дороги

Непосредственная и основная кровля представлена слоистым аргиллитом мощностью от 10,5 до 19,2 м. Непосредственная и основная почва представлена толстослоистым алеволитом мощностью от 17 до 20 м.

Залегание пласта пологое. Угол падения изменяется от  $5^\circ$  в центральной части столба до  $10-14^\circ$  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
- 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, строение которых приведено на рис. 2. Стратиграфический разрез толщи приведен по скважине 3461, пробуренной на глубину 1362 м в 1951-1958 годах Щегловской геологоразведочной партией. Эта скважина расположена в непосредственной близости к экспериментальному участку железной дороги. Подработанная толща состояла из аргиллитов (18%), алевролитов (36%), песчаников (34%), угольных пластов (12%). Заметим, что процент песчаников весьма значителен.

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

На рис. 3 показаны результаты нивелировки профильной линии. Видно, 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 западных лав. По сути измерены последствия активизации сдвижений толщи и земной поверхности над ранее выработанными пространствами и пространством действующей 15-й западной лавы. Следует отметить разброс опусканий относительно общего тренда, описывающего прогиб мульды сдвижений.

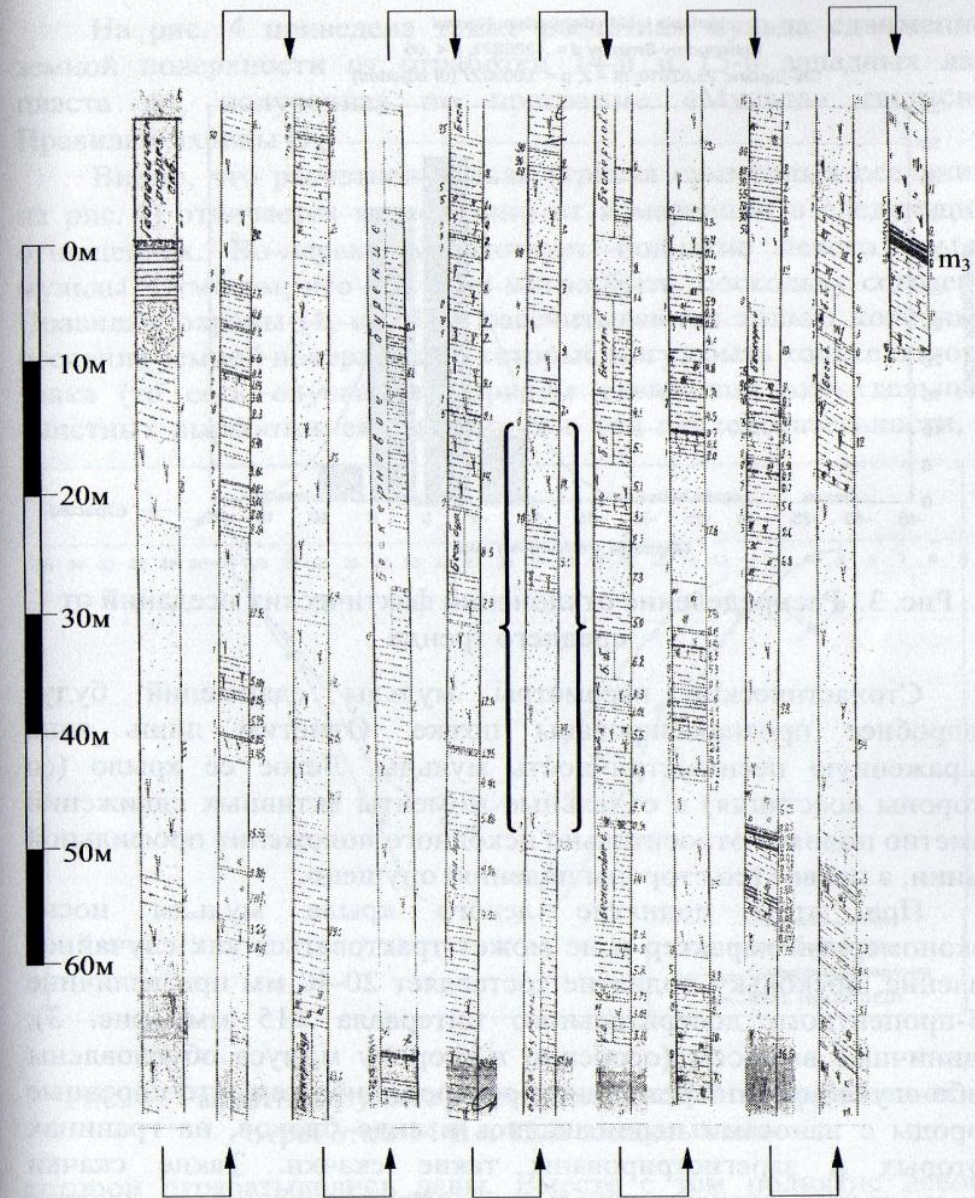


Рис. 2. Геологический разрез скважины №3461

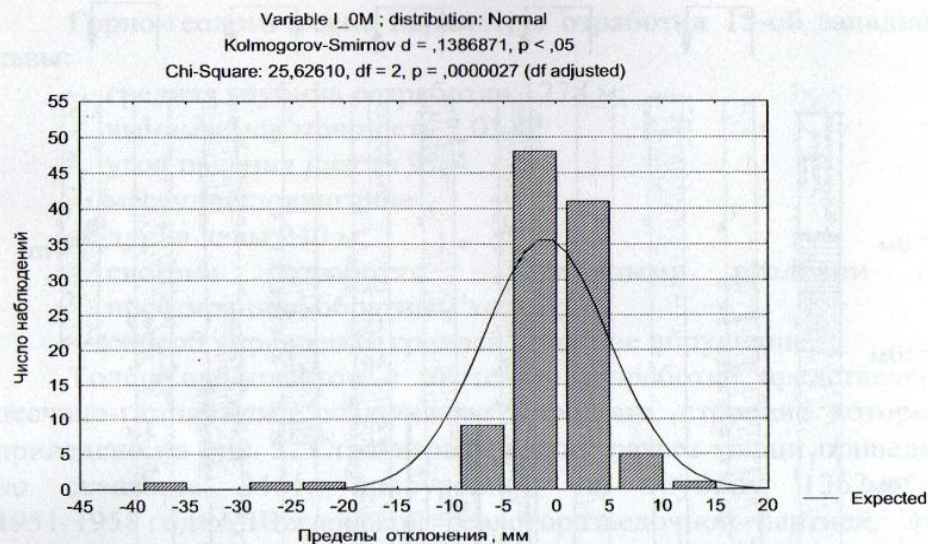


Рис. 3. Распределение отклонений фактических оседаний от среднего тренда

Стохастические параметры мульды сдвижений будут подробнее проанализированы позже. Отметим лишь явно выраженную несимметричность мульды. Левое ее крыло (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  $\pm 15$  мм (рис. 3). 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 [2].

На рис. 4 приведена также расчетная мульда сдвижений земной поверхности от отработки 14-й и 15-й западных лав пласта  $m_3$ , полученная по программе «Мульда» согласно Правилам охраны [1].

Видно, что расчетная кривая (кривая суммарных оседаний на рис. 4) отличается качественно от измеренной в следующих отношениях. Во-первых отсутствует поднятие левого крыла мульды. Отметим, что его и не могло быть, поскольку согласно Правилам охраны [1, с. 135] рассчитываются только конечные оседания земной поверхности, которые могут быть только одного знака (то есть опускания), причем сдвигения от отдельных очистных выработок складываются в той последовательности, в

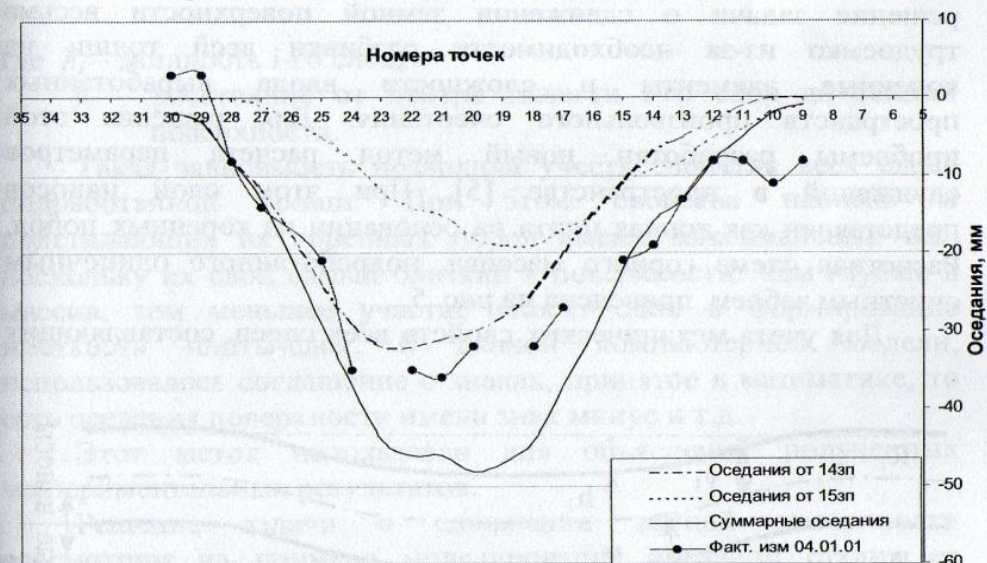


Рис. 4. Расчетная мульда сдвижения земной поверхности от отработки 14-й и 15-й западных лав

которой обрабатывались лавы. Вместе с тем поднятие левого крыла было зафиксировано по крайней мере несколько раз: при первом замере, а затем спустя 8 месяцев (04.01.01 и 20.09.01). Во-вторых, фактически измеренные оседания в среднем меньше

расчетных данных на 7-10 мм, что также подтверждает факт поднятия толщи. В-третьих, пик фактически измеренных оседаний смещен значительно левее пика расчетных оседаний (к центру 14-ой западной лавы). Это объясняется тем, что расчет суммарных деформаций производился по двум последним отработанным выемочным участкам (14-ой и 15-ой западным лавам), а фактически на формирование мульды сдвижения оказывали влияние все предыдущие подработки (включая 13-ю, 12-ю западные лавы и др.).

Известен метод расчета сдвижений земной поверхности, при котором используют метод конечных элементов в плоскодеформированной [3] и объемной постановке [4]. Однако решение задачи о сдвижении земной поверхности весьма трудоемко из-за необходимости разбивки всей толщи на конечные элементы и сложности ввода выработанных пространств произвольного очертания. Для решения этой проблемы разработан новый метод расчета параметров сдвижений в пространстве [5]. При этом слой наносов представлен как тонкая плита на основании из коренных пород. Расчетная схема горного массива, подработанного одиночным очистным забоем, приведена на рис. 5.

Для учета механических свойств всех слоев, составляющих

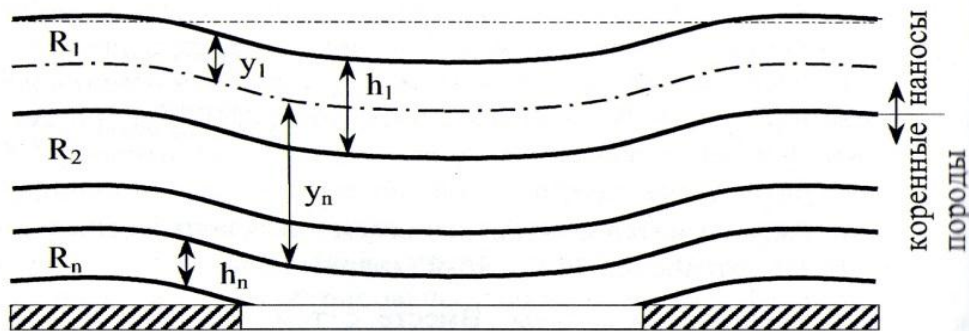


Рис. 5. Расчетная схема для определения сдвижений земной поверхности

толщ, их величины приводились к уровню земной поверхности по следующей зависимости:

$$E = \frac{\sum p_i E_i}{\sum p_i},$$

где  $E_i$  – модуль деформации  $i$ -го слоя;

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

$$p_i = \frac{h_i}{y_i},$$

где  $h_i$  – мощность  $i$ -го слоя;

$y_i$  – расстояние от центра тяжести  $i$ -го слоя до земной поверхности.

Такая зависимость позволила учесть свойства всех слоев подработанной толщи. При этом свойства наносов и подстилающих их коренных пород имеют максимальный вес, поскольку их слой самый близкий к поверхности. Чем глубже в массив, тем меньшее участие вносят слои в формирование жесткости плиты-слоя. В данной компьютерной модели, использовалось соглашение о знаках, принятое в математике, то есть оседания поверхности имели знак минус и т.д.

Этот метод использован для объяснений полученных экспериментальных результатов.

Решение задачи о сдвижении земной поверхности рассмотрим на примере моделирования активной стадии ее оседания. Наносы представлены в виде слоя-плиты, опирающейся на коренные породы. Слои коренных пород приводились к наносам по вышеприведенной формуле. Это согласуется с приемами приведения выработанных пространств, используемыми в Правилах охраны [1].

В результате компьютерного моделирования было получено несколько решений о прогибе наносов на всех этапах развития очистных работ. На рис. 6, а показаны прогибы на четвертом (от

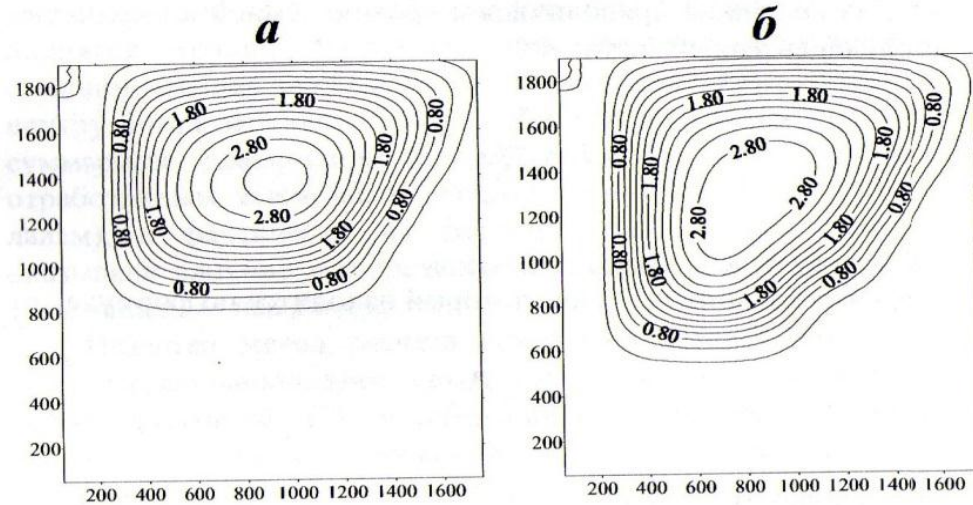


Рис. 6. Прогобы на четвертом (от всех лав с 14-й западной включительно) и пятом (от всех лав с 15-й западной включительно) этапах развития очистных работ

всех лав с 14-й западной включительно) и пятом (от всех лав с 15-й западной включительно) этапах. Распределение прогибов наносов, вызванных влиянием 15-й западной лавы показано на рис. 6, б, причем оно получено путем вычитания значений полных прогибов, приведенных на рис. 6, а.

На рис. 7 видно, что верхний участок железной дороги попадает прямо в зону относительных поднятий земной поверхности (темная область в верхней части рис. 7, а). Это поднятие хорошо видно на вертикальном сечении указанного распределения (рис. 8). Качественно расчетное распределение сдвижений земной поверхности полностью совпадает с измеренным. Отчетливо наблюдается область поднятий левой части мульды и несимметричность распределения, выражающаяся в том, что левое крыло мульды выше правого.

По мере релаксации напряжений в процессе ползучести толщи расчетная мульда постепенно приближается к измеренной. Для экономии времени расчет проводился при допущении, что

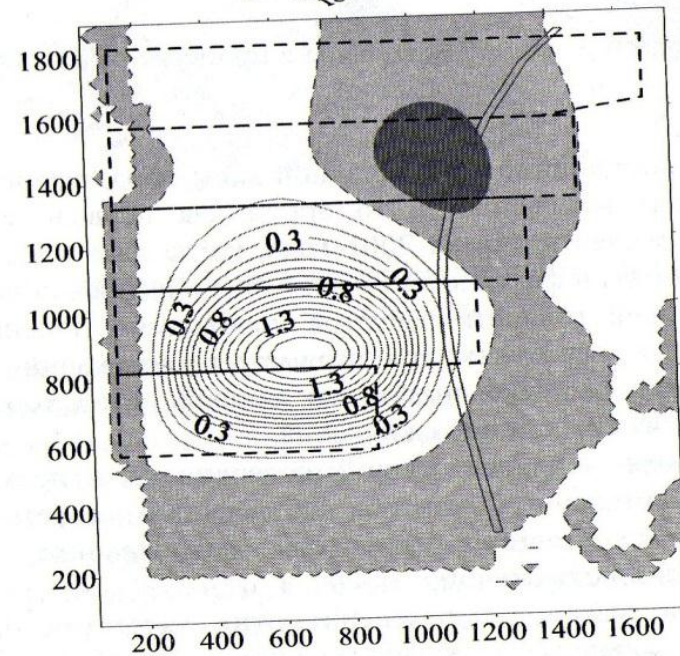
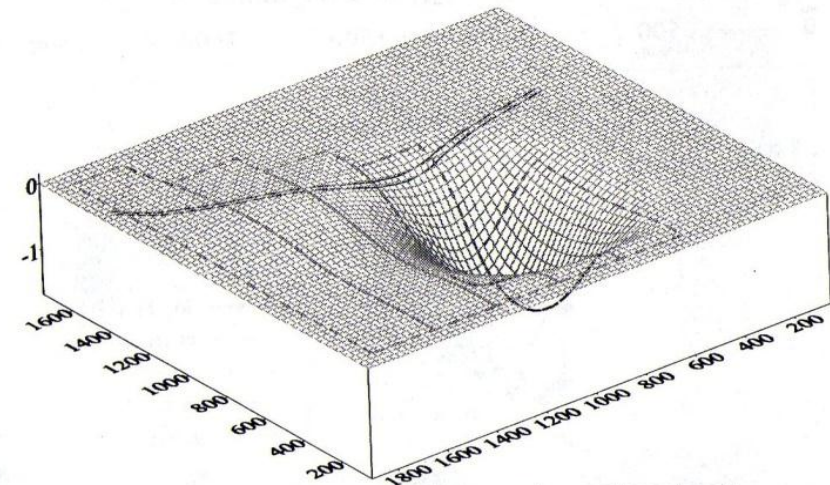


Рис. 7. Пространственное распределение расчетных опусканий, обусловленных чистым влиянием 15-й западной лавы

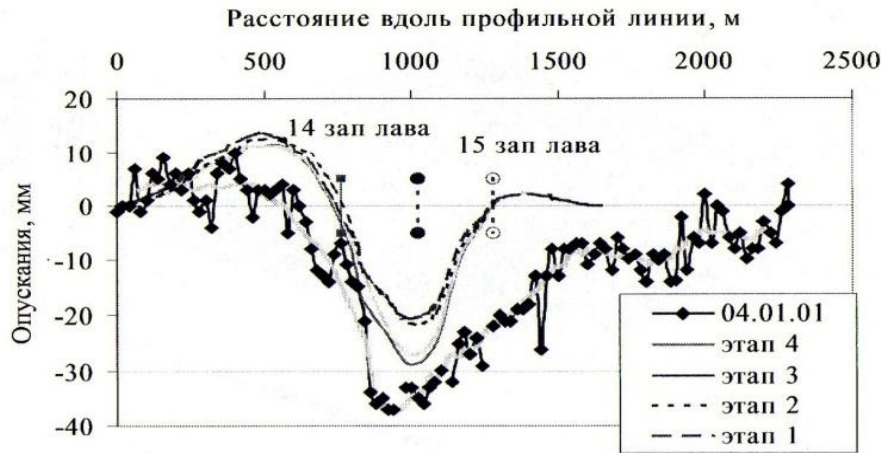


Рис. 8. Характер эволюции мульды в процессе развития сдвижений

выработанное пространство 15-й западной лавы образовалось на начало 2001 года мгновенно, в то время как первый замер сдвижений произведен 4 января 2001 года, когда лава работала уже с июля 2000 года и фактические сдвигения начались полгода назад. Для большей точности расчетов необходимо подвигать лаву ежемесячно и пересчитывать параметры сдвижений при каждом подвигании. Однако видно, что данный метод хорошо отражает динамическую стадию сдвижений.

Относительное поднятие земной поверхности в верхней части экспериментального участка объясняется действием изгибающих и крутящих моментов, возникающих на динамической стадии сдвижений.

На рис. 9 показано распределение этих моментов. При конкретно сложившейся конфигурации выработанного пространства в верхней части расчетной схемы появляются изгибающие и крутящий моменты, которые выгибают слой наносов вверх, что и является причиной поднятия профильной линии. Так, величина изгибающего момента  $M_x$ , действующего

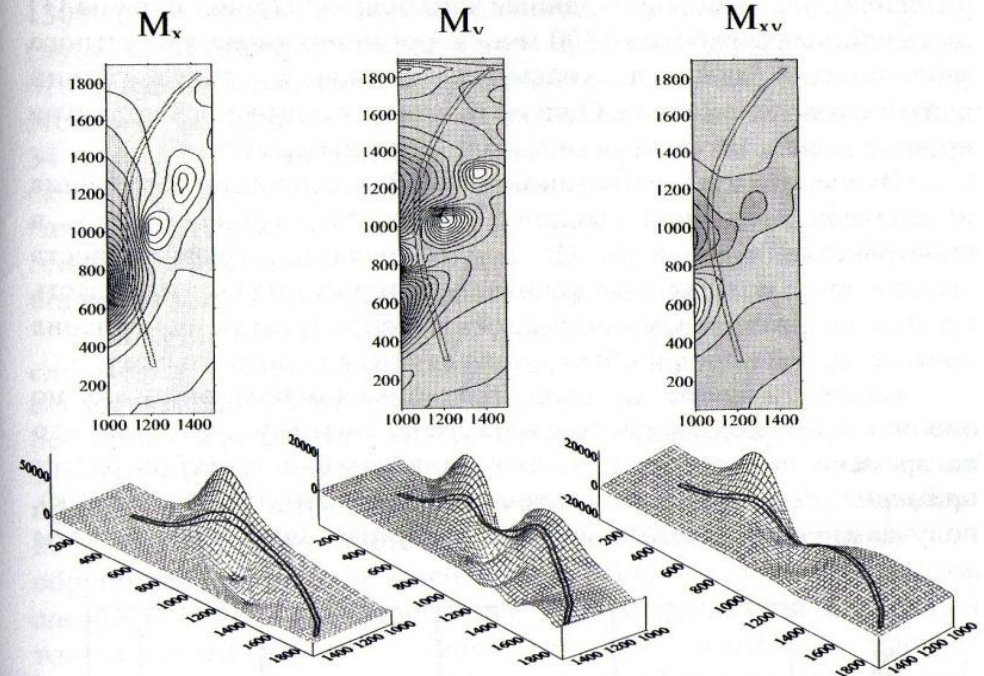


Рис. 9. Распределение изгибающих и крутящего момента в слое наносов

по простиранию в месте максимального поднятия наносов составляет порядка 10000 Нм, изгибающего момента  $M_y$ , действующего по восстанию–падению, – 13186 Нм, а крутящего  $M_{xy}$  – 3100 Нм. Важно, что все указанные моменты имеют один знак, а значит их действие складывается.

По мере релаксации напряжений относительное поднятие земной поверхности в левом крыле мульды уменьшается и в конечном итоге сменяется опусканием. Это видно по тренду расчетных и экспериментальных кривых. Однако в сентябре 2001 года поднятие в том же месте возобновляется снова. Такое явление экспериментально установлено впервые и требует специального объяснения. Для этого вначале оценим возможное время активной стадии сдвижений земной поверхности в данных



условиях. Экстраполируя данные таблицы 7.2 Правил охраны [1] для глубины разработки 1300 м и скорости подвигания очистного забоя более 70 м/мес. получаем, что активная стадия сдвижений длится около 25 месяцев. Однако на момент повторного поднятия прошло только 13 месяцев от начала очистных работ.

Экспериментально установлено [6], что процесс обрушения и прогиба породной толщи происходит скачкообразно в пространстве и времени. На рис. 10 показаны графики роста высоты зоны полных сдвижений, на которых видно, что область полных сдвижений увеличивается скачками по мере истощения долговечности пород и обрушения текущего породного слоя.

Однако, в целом, по тренду (наклону) ломаной линии можно оценить среднюю скорость сдвижений. Поэтому, допуская, что во времени высота зоны полных сдвижений и прогибов растет примерно с постоянной скоростью (хотя это не совсем так), получаем, что сдвижение могло дойти лишь до высоты

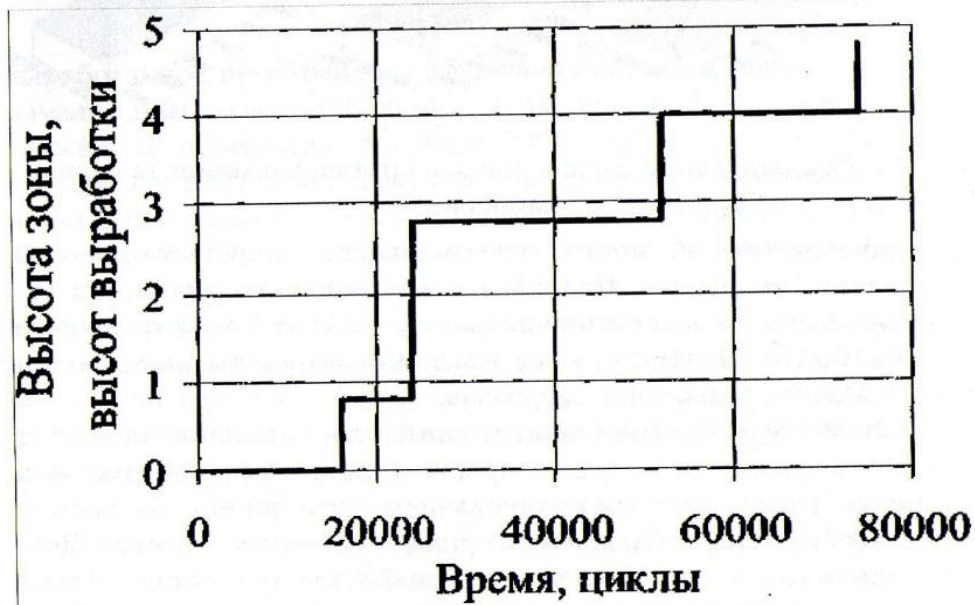


Рис. 10. Рост высоты зоны разрушения во времени при породах средней прочности [6]

$1300 \times 13/25 = 676$  м. Анализируя колонку и вычитая эту высоту из глубины залегания угольного пласта, равной 1345 м, получаем, что обрушение дошло до отметки 669 м. На рис. 2 видно, что на этом участке разреза залегают два слоя песчаника мощностью 34 м и 14 м. Этот интервал скважины отмечен фигурными скобками. Ниже этих песчаников находилась слабая толща глинистых пород, пробуренных без керна, что отражено в отчете геологоразведочной партии. Таким образом, явление повторного поднятия толщи можно объяснить следующим.

К концу лета 2001 года процесс развития зоны полных сдвижений и зоны прогибов дошел до подошвы мощного слоя песчаника. Нижележащие слабые породы легко отделились от песчаника, в результате чего образовалась полость расслоения на значительной площади над выработанным сплошным пространством. Затем, спустя некоторое время, когда к сентябрю 2001 года долговечность песчаника была истощена, он обрушился на общую высоту около 60 м (с учетом прослоя алевролита между песчаниками), что уменьшило вес зависшей толщи почти на 10%. Такая разгрузка зависшего массива сказалась на том, что остаточные изгибающие и крутящие моменты, образовавшиеся ранее в наносах и коренных породах проявили свою активность, в результате чего слой наносов вернулся в положение, в котором он находился после предыдущей подработки, когда он испытывал относительное поднятие в верхней части экспериментального участка. Есть все основания полагать, что максимальное поднятие слоя наносов было даже больше зафиксированных величин, так как измерения на наблюдательных станциях были начаты после отхода лавы на расстояние около 800 м.

Факт обрушения значительной толщи пород подтверждается зарегистрированным примерно в это время подземным толчком силой до 3 баллов по шкале Рихтера в районе поселка шахты им. А.Ф. Засядько. Впоследствии, под действием релаксации напряжений и ползучести земная поверхность опять опустилась, и относительное поднятие исчезло, что видно на графиках инструментальных наблюдений (рис. 11 и 12).



Рис. 11. График оседаний отрезка ж/д пути Донецк-Ясиноватая при подработке 15-й западной лавы (пласт  $m_3$  на 04.01.2001 г.)



Рис. 12. График оседаний отрезка ж/д пути Донецк-Ясиноватая при подработке 15-й западной лавы (пласт  $m_3$  на 09.10.2001 г.)

Таким образом, установлено явление неоднократного поднятия земной поверхности со стороны восстания вследствие отработки пластового месторождения длинными очистными забоями после их остановки при неподвижных границах выработанного пространства.

Достоверность установленного экспериментально явления подтверждается численным и физическим моделированием процесса обрушения толщи над остановленной горной выработкой [6, 7].

При этом доказан факт приостановки обрушений под прочным слоем песчаника, что видно из рис. 13, а также относительным поднятием земной поверхности в момент обрушения мощного слоя пород. На рис. 14 показан вид численной модели из дискретных элементов, отражающей процесс динамического обрушения толщи.

На рис. 15 показан график обрушений породных слоев, на котором видно, что процесс длительных сдвижений протекает во времени ступенчато.

Однако, в целом, можно обнаружить линейный тренд с характерной скоростью сдвижений для данных горно-геологических условий. На рис. 11 и рис. 12 показано фактически измеренное относительное поднятие мульды сдвижений на



Рис. 13. Рост высоты обрушения над выработкой при отработке пятой физической модели на большом стенде [6]

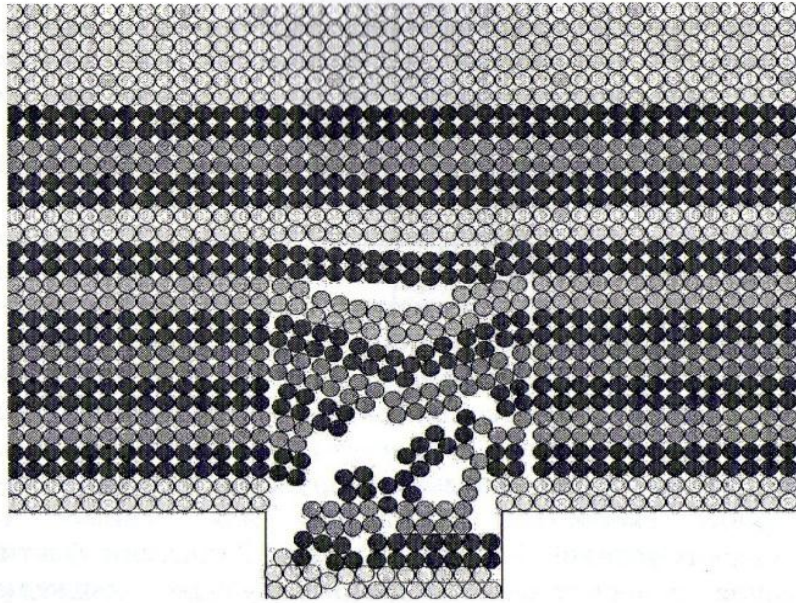


Рис. 14. Модель из дискретных элементов состояния зоны обрушения пород [7]

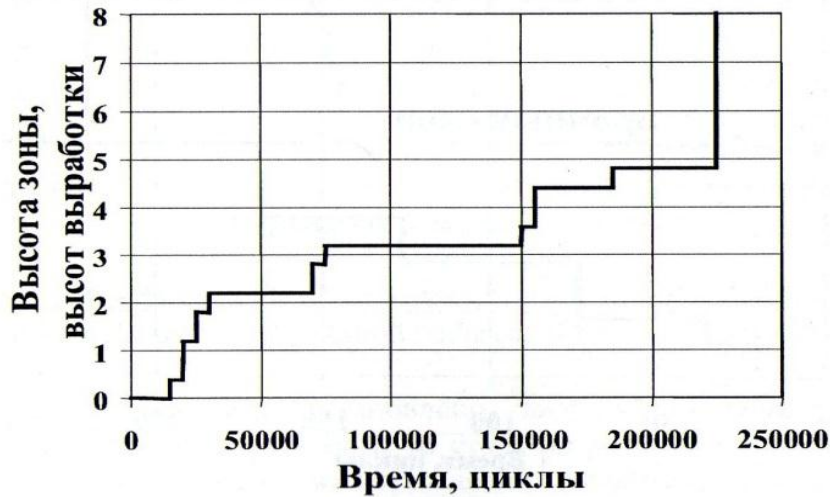


Рис. 15. Рост высоты зоны разрушения во времени при прочных породах и наличии слабого слоя [7]

уровне земной поверхности после отрыва и обрушения очередного слоя в коренных породах. Результаты моделирования показывают, что между циклами 75000 и 85000 произошло в целом оседание толщи, однако есть ряд областей, в пределах которых наблюдается явное относительное поднятие толщи, хотя оно не компенсирует суммарное накопившееся оседание.

На рис. 16, 17 приведены дополнительные оседания между указанными циклами моделирования, на которых видно, что крылья мульды испытали относительное, пусть и весьма незначительное поднятие. Такое поднятие во многих случаях неопасно для наземных сооружений, однако с физической точки зрения как явление весьма важно, поскольку уточняет сложный механизм сдвижений в динамической активной стадии.

Приведенные данные полностью подтверждают достоверность и закономерность полученного экспериментального результата в отношении поднятия земной поверхности при неподвижных границах выработанного пространства.

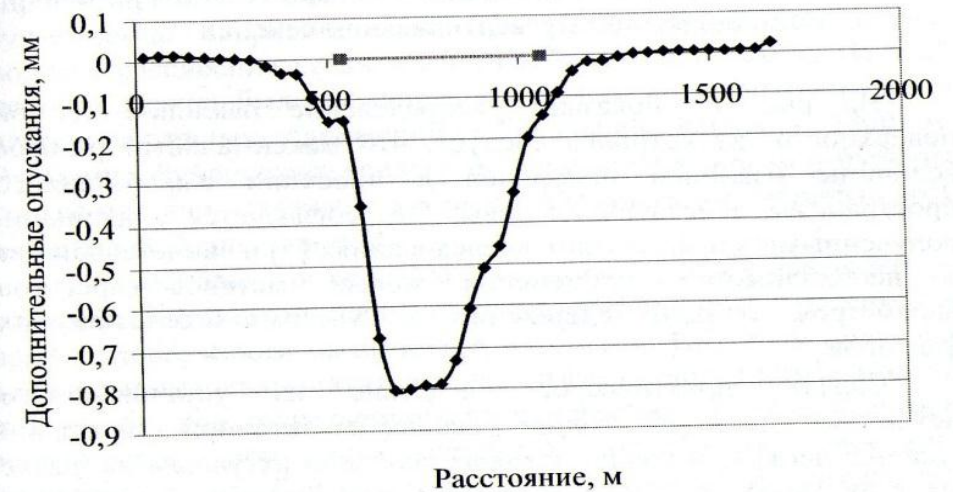


Рис. 16. График дополнительных оседаний земной поверхности между циклами моделирования

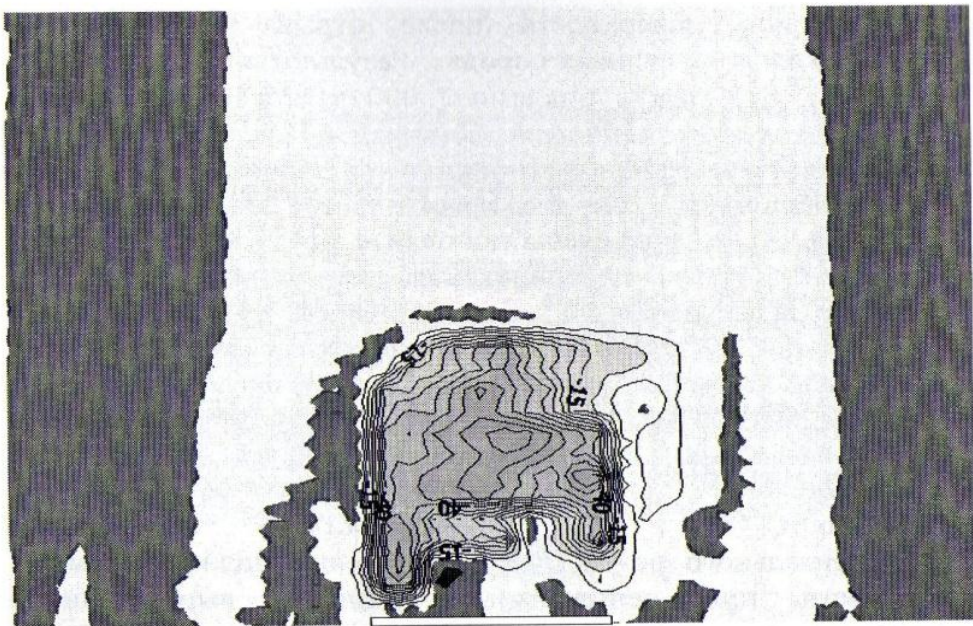


Рис. 17. Распределение дополнительных оседаний земной поверхности в вертикальном сечении

На рис. 18 показано распределение наклонов земной поверхности, из которого следует, что максимальный разброс величины наклонов приурочен к проекции выработанного пространства действующей лавы. Это согласуется с данными, полученными в предыдущих исследованиях [5] и свидетельствует о необходимости применения новых методов прогноза параметров мульды сдвижений с учетом стохастических факторов.

Важное практическое следствие из установленного механизма сдвижений толщи массива на активной его стадии касается дегазации толщи, которая особенно актуальна на шахте им. А.Ф. Засядько. На бурение дегазационных скважин затрачиваются огромные финансовые и материальные средства. Так на бурение дегазационной скважины глубиной 1300 м необходимо затратить более одного млн. гривен. Если заранее



Рис. 18. Распределение фактических наклонов вдоль профильной линии

спрогнозировать места зависаний песчаников, можно существенно сократить объемы бурения. В данном случае полость расслоения создалась на глубине около 700 м. Из этой полости можно было получить и тот газ, который поднялся в период активных сдвижений с реальной глубины 1300 м. Экономия финансовых средств от сокращения объемов бурения только по одной скважине в этом случае могла бы составить 46% или около 0.5 млн. гривен.

Полученные результаты углубляют представления о сложном механизме сдвижений подработанного массива и земной поверхности на активной их стадии. При этом получено экспериментальное подтверждение эффективности новой модели для расчета пространственного распределения сдвижений земной поверхности при ее подработке очистными работами, ведущимися на большой глубине с высокими скоростями подвигания и сложной произвольной конфигурацией выработанных пространств.

## СПИСОК ССЫЛОК

1. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях / МУП СССР. – М.: Недра, 1981. – 288 с.
2. Бугара М.И., Коломиец В.А., Назимко В.В. Совершенствование методики прогноза параметров мульды сдвижений с учетом стохастических факторов // Физико-технические проблемы горного производства. – Донецк: ДУНПГО. – 2001. – №4. – С. 44-50.
3. Daniel W.H. Su. Finite element modeling of surface subsidence induced by underground coal mining // 3<sup>rd</sup> subsidence workshop due to underground mining. – Morgantown: West Virginia University. – 1992. – P. 32-46.
4. Гавриленко Ю.И., Петрушин А.Е. Мульда сдвижения при подработке продольных и поперечных разрывных тектонических нарушений пологими угольными пластами // Проблемы гірського тиску. – 2002. – №7. – С. 175-190.
5. Бугара М.И., Коломиец В.А. Влияние неоднородностей распределения физико-механических свойств массива на стохастичность оседания земной поверхности // Проблемы гірського тиску. – 2001. – №6. – С. 46-65.
6. Звягильский Е.Л., Минаев А.А., Назимко В.В., Александров С.Н., Пенг С.С. Геомеханические основы предотвращения провалов земной поверхности при ликвидации шахт. – Донецк: ООО «НОРД Компьютер», 2001. – 334 с.
7. Peng S.S. Surface subsidence engineering. - Littleton: SMME, 1992. - 162 p.

*Здано до редакції 27.03.2003 р.  
Рекомендовано до друку д.т.н. Гавриленко Ю.М.*