

УДК 622.287

ПРОГНОЗ ДИНАМИКИ ОБРУШЕНИЙ ПРИ ОТРАБОТКЕ ПРИМЫКАЮЩЕЙ К РАНЕЕ ВЫРАБОТАННОМУ ПРОСТРАНСТВУ ЛАВЫ

Назимко Е.В., Канин В.А. (УкрНИИМИ НАНУ, г. Донецк),
Демченко А.И. (шх. «Красноармейская-Западная №1»
г. Красноармейск, Украина),
Ефремов И.А. (шх. им. А.Ф. Засядько, г. Донецк, Украина)

За допомогою комп'ютерного моделювання зроблено прогноз динаміки обвалень при відробітку примикаючої до раніше виробленого простору лави.

Through the computer design prognosis of dynamics of bringing down at working off lava joining to the before produced space is done.

Эффективность работы угольных шахт в условиях современной рыночной экономики определяется, как правило, интенсивностью производственного процесса (нагрузкой на очистной забой и скоростью проходческих работ). Исходя из реальных возможностей добычной техники, нагрузка на очистной забой для пластов мощностью порядка 1 м может составлять 2,5-3,0 тыс. т в сутки, т.е. в 3-4 раза выше существующей. Однако, как показал опыт работы некоторых шахт, интенсификация технологии добычи угля провоцирует ряд негативных явлений в поведении геомеханической системы, включающей угленосный массив, горные выработки, крепь и охранные конструкции. В частности, увеличивается частота газодинамических и геодинамических явлений, пучение пород и ухудшаются условия управления горным давлением в лаве, возрастают нагрузки на крепь выемочных штреков, содержание метана в рудничной атмосфере. Научно-практические наработки,

имеющиеся в физике массива горных пород, не дают однозначного ответа, а часто и не объясняют причин происходящих явлений. Из этого следует необходимость расширения и углубления знаний о геомеханических процессах, протекающих в массиве при больших скоростях обнажения массива.

В настоящее время особую актуальность приобрела проблема совершенствования теории и практики познания геомеханических процессов, протекающих в подземной угледобывающей геотехнической системе с целью создания основ управления ее состоянием. Решение этой проблемы состоит, прежде всего, в осмыслении современного состояния геомеханики углепородного массива, оценке новых горно-геологических и горно-технологических условий, выделении ключевых звеньев в функционировании пространственно-временной системы «массив-выработки-охранные конструкции», выявлении закономерностей протекания геомеханических процессов в этой системе, а также создании концептуальных основ контроля и управления горным давлением в подземных геотехнологических системах.

Объем публикаций, посвященных динамическим процессам, сопровождающим активную стадию сдвижений в отечественной литературе, вряд ли составит несколько процентов. Это свидетельствует о недостаточной проработанности данного направления. В качестве типичных примеров можно назвать публикации УкрНИИМ [1], ДонНТУ [2, 3], МакНИИ [4] и других институтов.

Сложность проблемы динамических проявлений сдвижения горных пород при их подработке быстро движущимися очистными забоями иллюстрируется тем, что даже сегодня влияние изменения скорости подвигания очистного забоя на геомеханические процессы, протекающие в массиве при больших скоростях обнажения массива, оценивается неоднозначно. Ряд исследователей, основываясь на наблюдениях за сдвижением горных пород и земной поверхности под влиянием горных разработок, указывают, что увеличение скорости подвигания

очистных работ во многих случаях уменьшает деформации земной поверхности.

Целый ряд специалистов придерживаются противоположного взгляда на эффект скорости подвигания очистного забоя. Так Р.А. Муллер [5], А.Н. Медянец [6], М.А. Иофис [7], В.Н. Земисев [8], В.С. Костенич [9], Е.Г. Петрук [10], В.И. Мякенький [11], А. Ковальски [12] и др. установили, что скорость подвигания очистного забоя не оказывает существенного влияния на величины деформаций земной поверхности, а увеличивает или уменьшает продолжительность и интенсивность процесса сдвижения. Указанные работы основаны на прикладном подходе к изучению параметров мульды сдвижений. Однако если рассматривать динамические проявления процесса сдвижения не только с точки зрения устойчивости наземных сооружений, но и как важные индикаторы параметров этого процесса в динамике, следует сделать вывод о преждевременном заключении о несущественной роли подобных проявлений.

Таким образом, анализ существующих представлений о динамических проявлениях сдвижений подрабатываемого горного массива на их активной стадии показывает, что скорость подвигания очистного забоя существенно влияет на геомеханические процессы, протекающие в массиве. Механизм этого влияния действует через удлинение зависающих консольных слоев горных пород, в результате чего перемещаются точки перегиба кривой оседания, уменьшаются их наклоны и текущие величины самих оседаний, изменяется траектория точек земной поверхности в процессе оседаний. Зависания прочных породных слоев, не склонных к ползучести, приводят к их неизбежному обрушению. Полости зависания являются потенциальными емкостями для накопления взрывоопасного газа метана, что представляет опасность для рабочих очистного забоя. Поэтому является целесообразным сделать прогноз динамики обрушений при отработке примыкающей к ранее выработанному пространству 13-й восточной лавы шахты им. А.Ф. Засядько по пласту l_1 , так как шахта им. А.Ф. Засядько работает на большой глубине (1150 м) и при высоких скоростях подвигания.

В данном случае прогноз динамики обрушений сделан при помощи математического моделирования.

Для решения поставленной задачи использовался метод конечных разностей для прогноза напряженного состояния подрабатываемого породного массива, который позволил получить распределение высоты зоны полных обрушений основной кровли, а также распределение эквивалентных напряжений.

Выкопировка с плана горных выработок представлена на рис. 1.

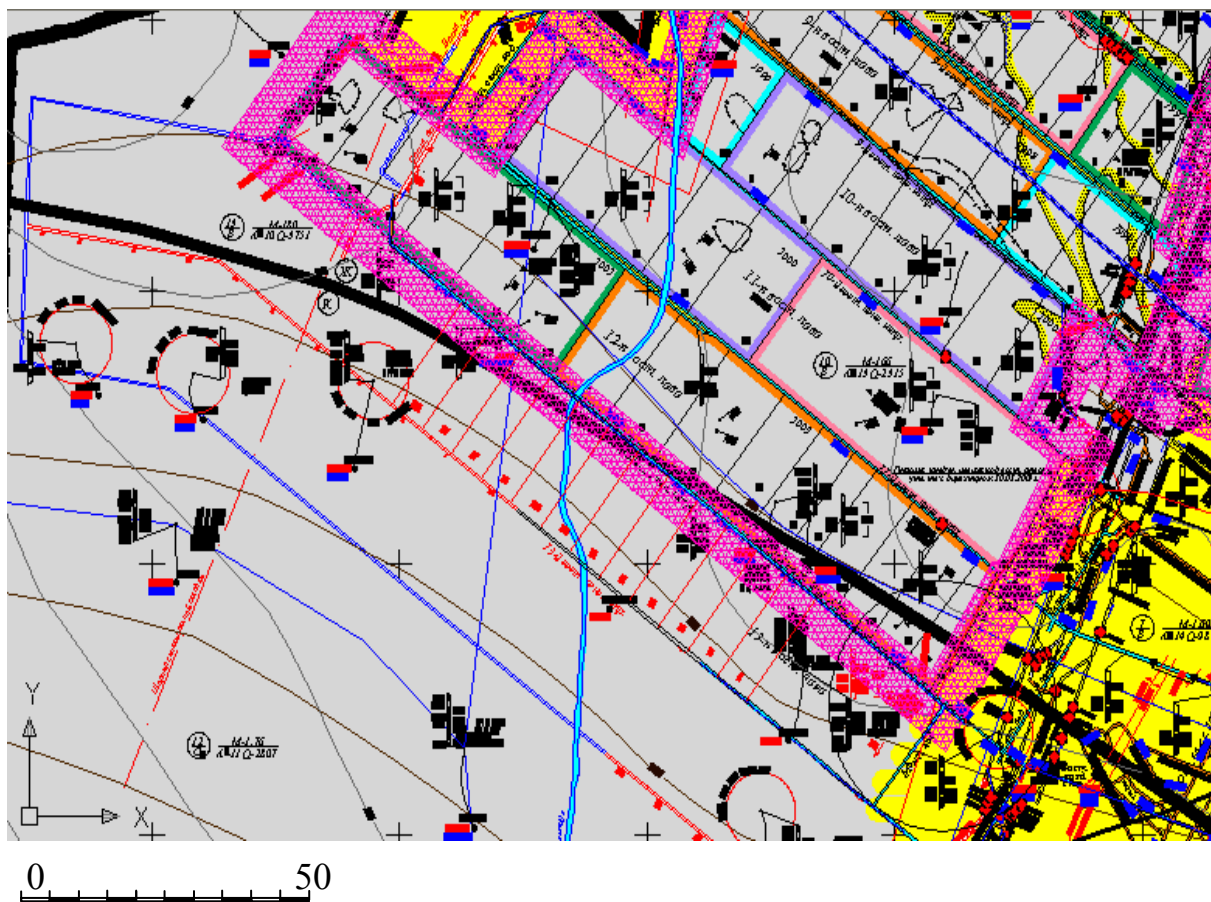


Рис. 1. Выкопировка с плана горных выработок по пласту l_1 в районе 13-й восточной лавы шахты м. А.Ф. Засядко

Пласт l_1 отрабатывается 13-й восточной лавой на глубине 1150 м. Лава длиной 240 м отходила от монтажного ходка шириной 6 м, который пройден в целике и не примыкает к ранее выработанному пространству 12 восточной лавы, а расположен

на расстоянии 25 м от угловой части у нижней границы выработанного пространства. Управление кровлей осуществляется путем ее полного обрушения с помощью механизированной крепи ЗКД-90.

Вынимаемая мощность пласта составляет 1,9-2,0 м. Пласт сложного строения залегает в устойчивых вмещающих породах (рис. 2).

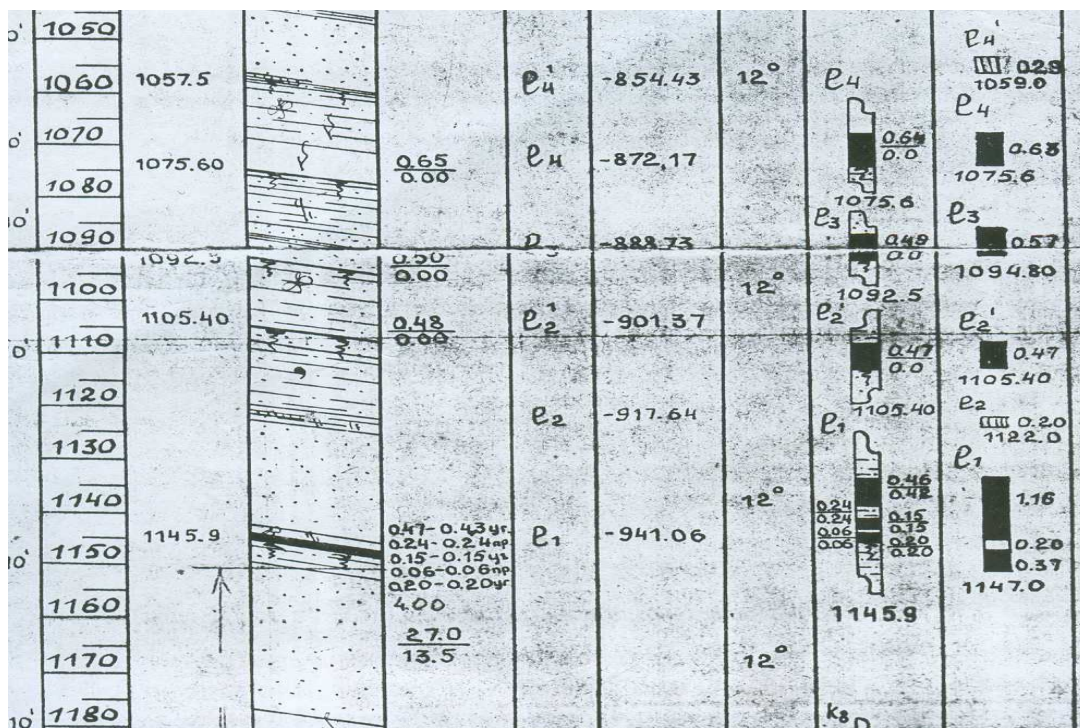


Рис. 2. Стратиграфическая колонка толщи в окрестности 13-й восточной лавы пласта I₁ шахты им. А.Ф. Засядько

Вблизи монтажного хода 13-й восточной лавы расположен замок флексурой антиклинальной складки, ось которой указана на левой части рис. 3 штрихпунктирной кривой.

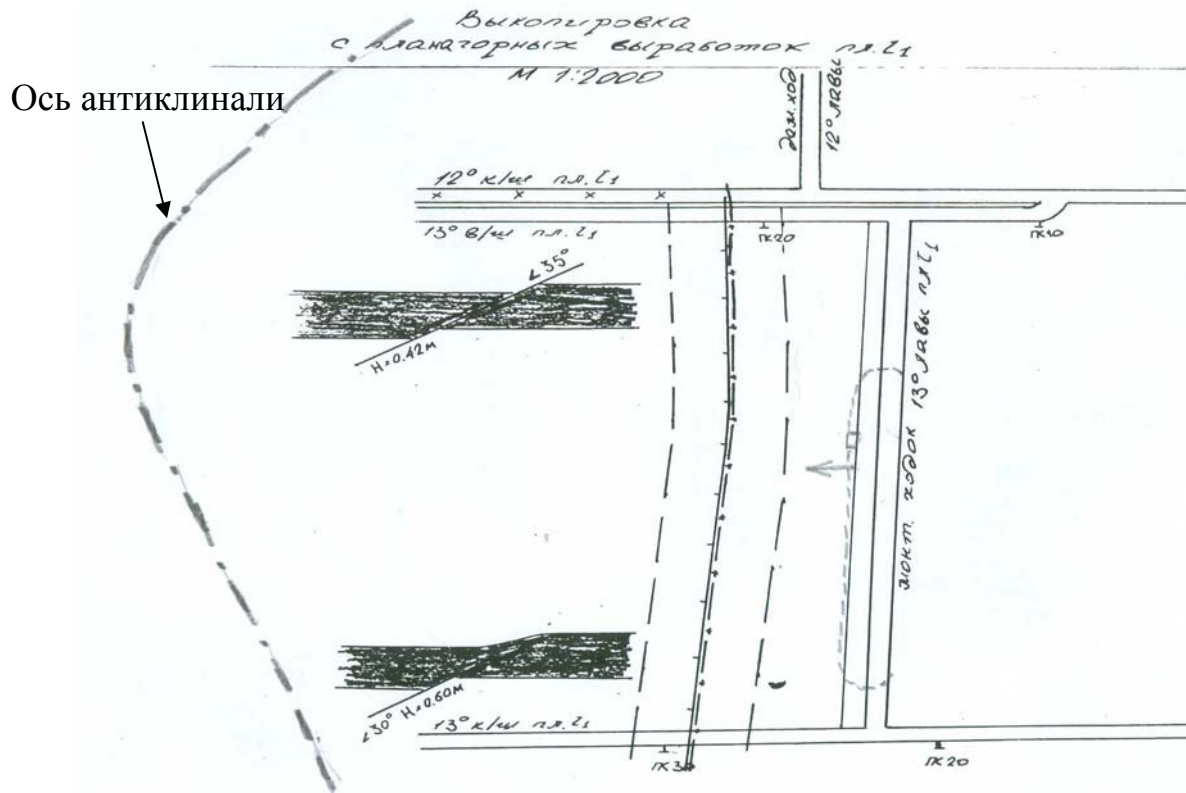


Рис. 3. Расположение замка флексурой антиклинальной складки в районе 13-й восточной лавы пласта l_1 шахты им. А.Ф. Засядько

Закономерности перераспределения напряженно - деформированного состояния вокруг очистного забоя 13-й восточной лавы исследовалось с помощью компьютерного моделирования. С его помощью исследовалось пространственное распределение горного давления, а также оседаний основной кровли и ее предельного состояния.

Подрабатываемая толща горных пород рассматривается как толстая плита, опирающаяся на неоднородное основание 3 и прогибающаяся под собственным весом q (рис. 4).

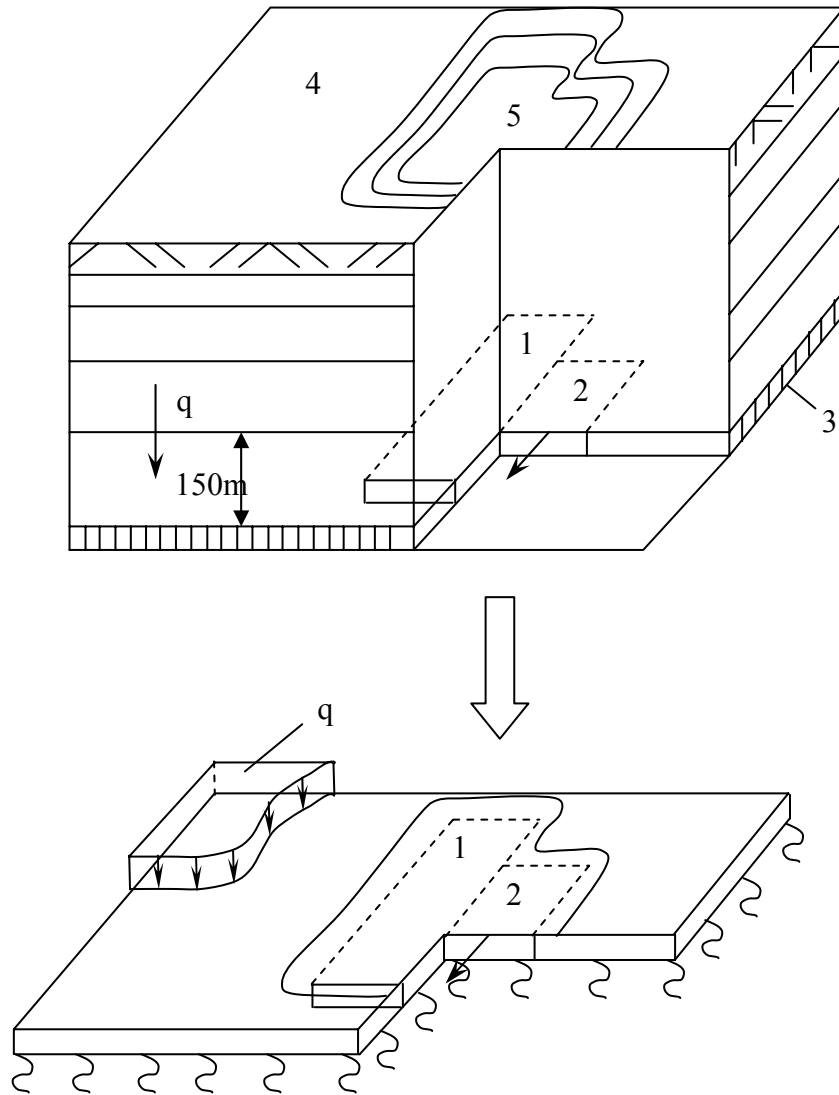


Рис. 4. Расчетная схема для определения напряженно-деформированного состояния подрабатываемой толщи горных пород: 1 – ранее выработанное пространство; 2 – действующая лава; 3 – основание; 4 – земная поверхность; 5 – мульда

Жесткость основания 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.

В результате отработки лав на земной поверхности 4 формируется мульда сдвижений 5. Распределение напряжений и деформаций в толстой плите мощностью 150 m можно найти с помощью трехмерных моделей. Однако, если заменить толстую

плиту тонкой, можно подобрать такие эквивалентные величины жесткости основания и деформационных параметров плиты, при которых некоторые параметры напряженно-деформированного состояния будут соответствовать фактическим.

Например, с помощью такой модели можно с высокой достоверностью прогнозировать параметры мульды сдвижений на земной поверхности, а также прогибы и напряжения в породных слоях в пределах высоты подрабатываемой толщи, равной 150 м.

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;

M – 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.

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

Сначала определяется начальное напряженное состояние выработанного пространства. Это позволит учесть неоднородность напряженного состояния до начала работы 13-й восточной лавы, а также даст возможность учесть влияние ранее выработанных пространств. На рис. 5 показано распределение вертикальной компоненты горного давления с учетом отработки 11-й и 12-й восточных лав до начала работы 13-й восточной лавы.

Вокруг 12-й восточной лавы присутствует зона остаточного повышенного горного давления. Это означает, что 13-я восточная лава (ее верхняя часть) будет работать в критических условиях этой зоны, что будет представлять определенные сложности.

Значения прочности вводились по скважинам, расположенным по всей площади выемочного пространства, что позволяет учесть ее неоднородность.

В пределах выемочного столба приведенная прочность подработанной толщи меняется (в западной части больше, в восточной меньше), это окажет свое влияние на динамику обрушения кровли (рис. 6).

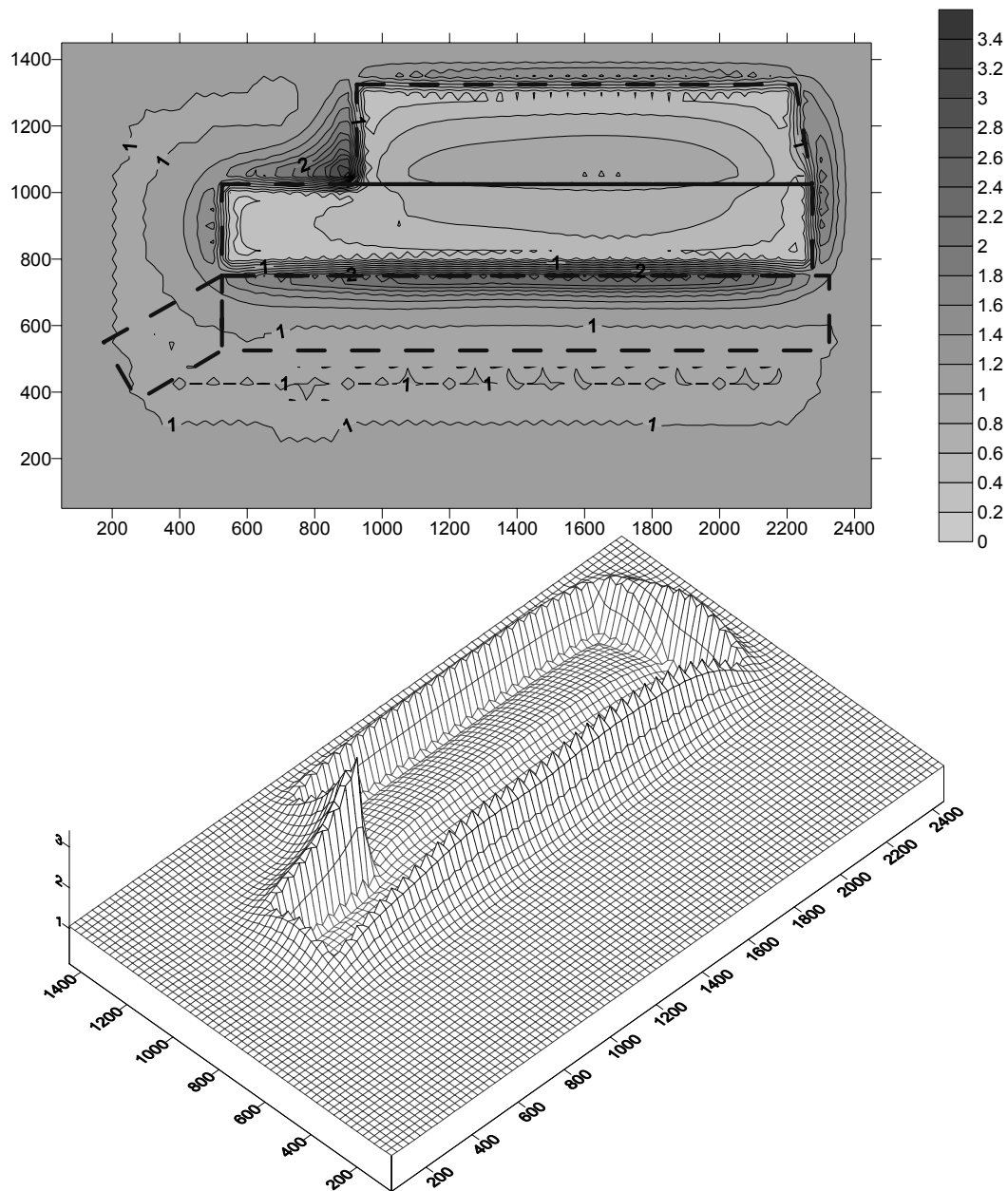


Рис. 5. Распределение горного давления вокруг выработанного пространства с учетом отработки 11-й и 12-й восточных лав до начала работы 13-й восточной лавы пласта l_1 шахты им. А.Ф. Засядько

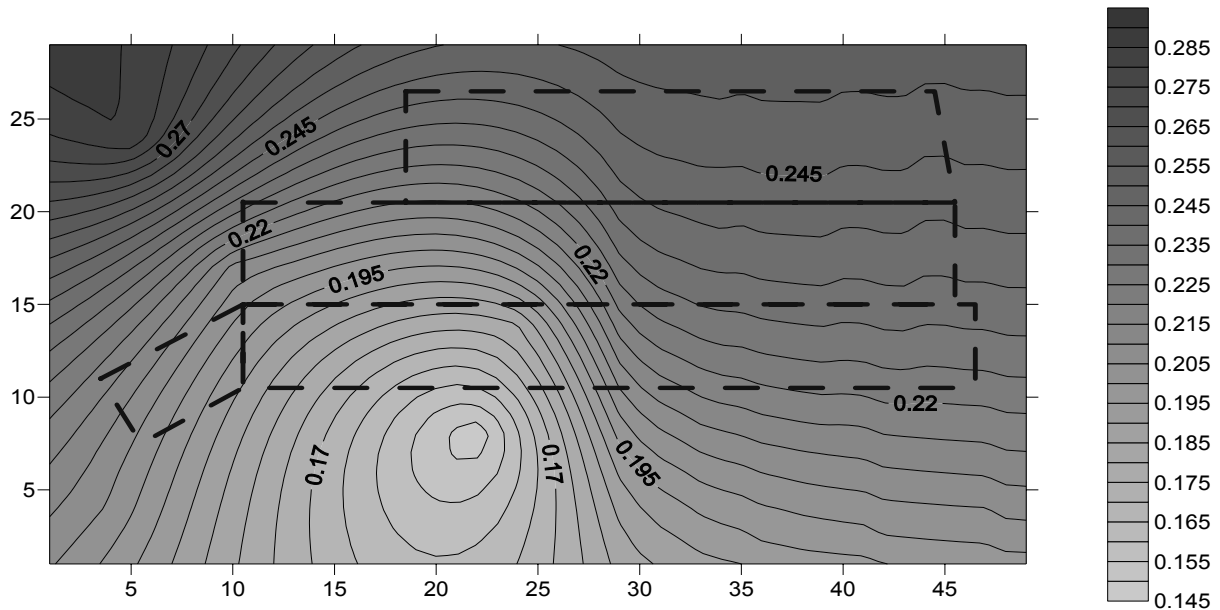
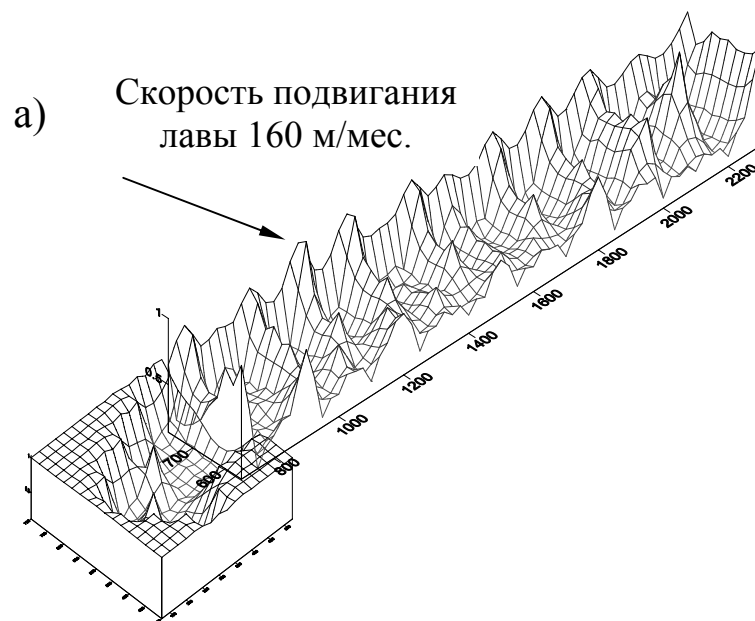


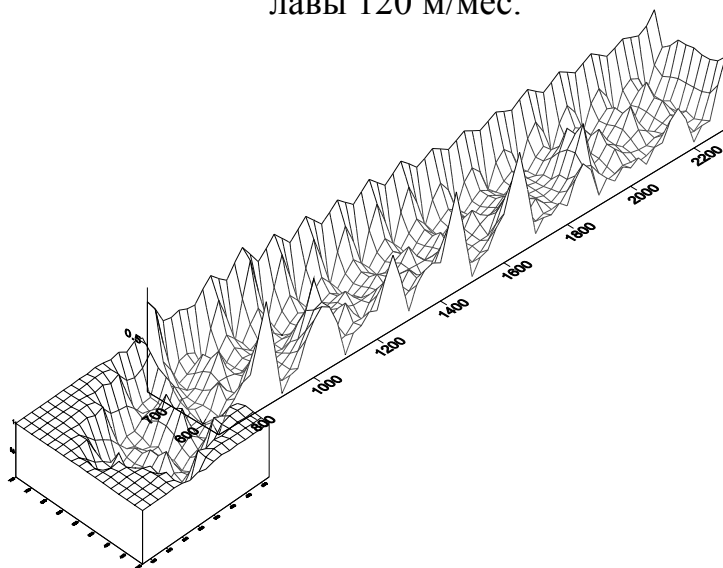
Рис. 6. Распределение приведенной прочности подработанной толщи в пределах выемочного столба пласта I_1 шахты им. А.Ф. Засядько

В районе замка флексурной складки нет скважин, из-за чего прочность подработанной толщи определить невозможно. Поэтому на первом этапе расчеты велись без учета влияния замка флексурной складки (рис. 7, а, б, в).

Единица соответствует нетронутому массиву либо оседанию подработанной толщи без разрушения.



б) Скорость подвигания
лавы 120 м/мес.



в) Скорость подвигания
лавы 80 м/мес.

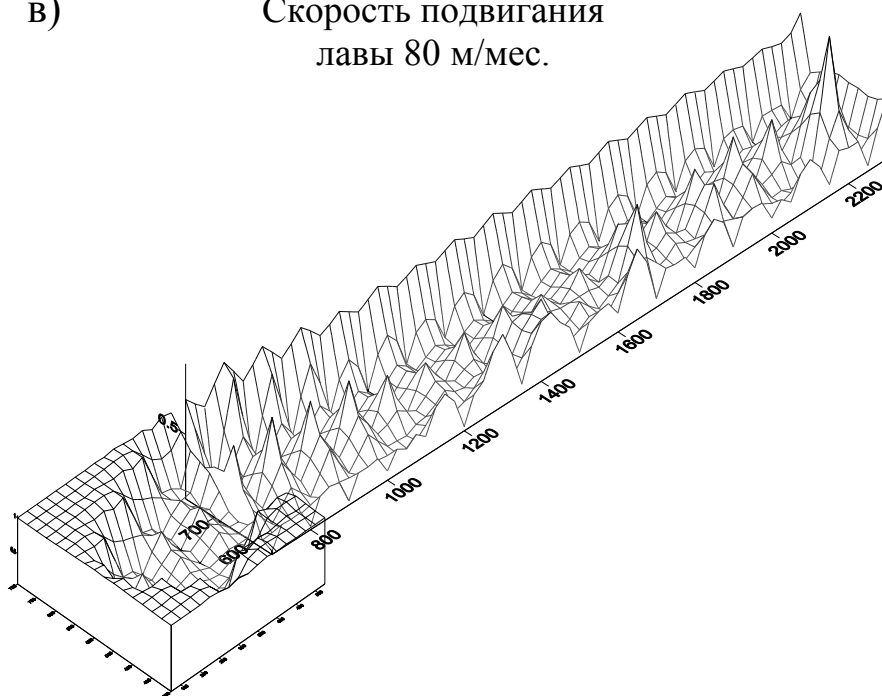


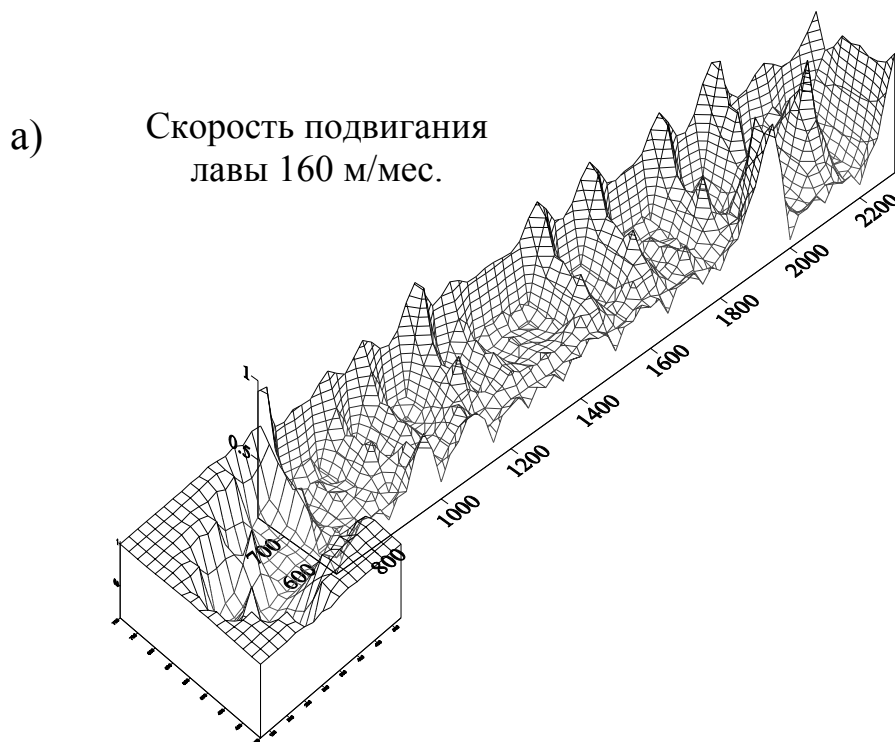
Рис. 7. Распределение высоты зоны полных обрушений основной кровли 13-й восточной лавы пласта l_1 шахты им. А.Ф. Засядько

Чем больше впадина на распределении, тем на большую высоту разрушилась кровля в пределах 30 вынимаемых мощностей пласта. Из разрушенной кровли в этих зонах начнется выделение газа.

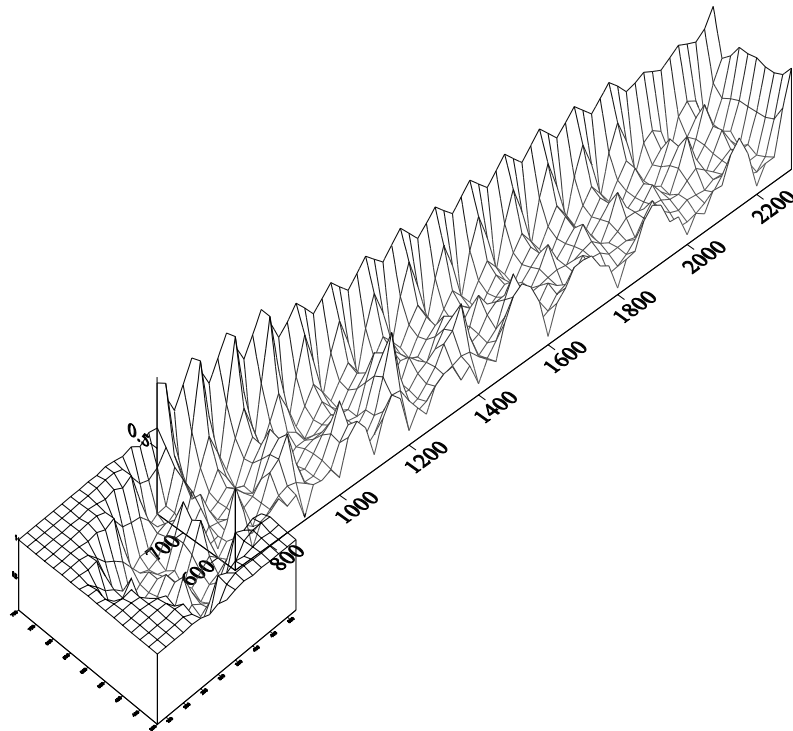
Расчет производился для трех скоростей подвигания лавы: 160 м/мес., 120 м/мес. и 80 м/мес. для того, чтобы учесть всевозможные неблагоприятные ситуации по мере подвигания лавы.

Участки на распределении, указанные стрелкой, – это зоны зависания кровли, которые стремятся к границе ранее выработанного пространства. В зонах зависания газовыделение задерживается, но происходит позже, при отходе лавы. При скорости подвигания лавы 160 м/мес. шаг глобальной посадки около 150 м, всего 13 глобальных зависаний, при скорости подвигания лавы 120 м/мес. шаг посадки уменьшается, количество зависаний кровли увеличивается, около 16. При скорости подвигания лавы 80 м/мес. глобальных зависаний нет, общее количество зависаний приближается к 20, газовыделение будет происходить стабильно.

Для учета влияния замка флексурной складки принимаем в этой зоне приведенную прочность подработанной толщи в 1,3 раза меньше (рис. 8, а, б, в).



б) Скорость продвижения
лавы 120 м/мес.



в) Скорость продвижения
лавы 80 м/мес.

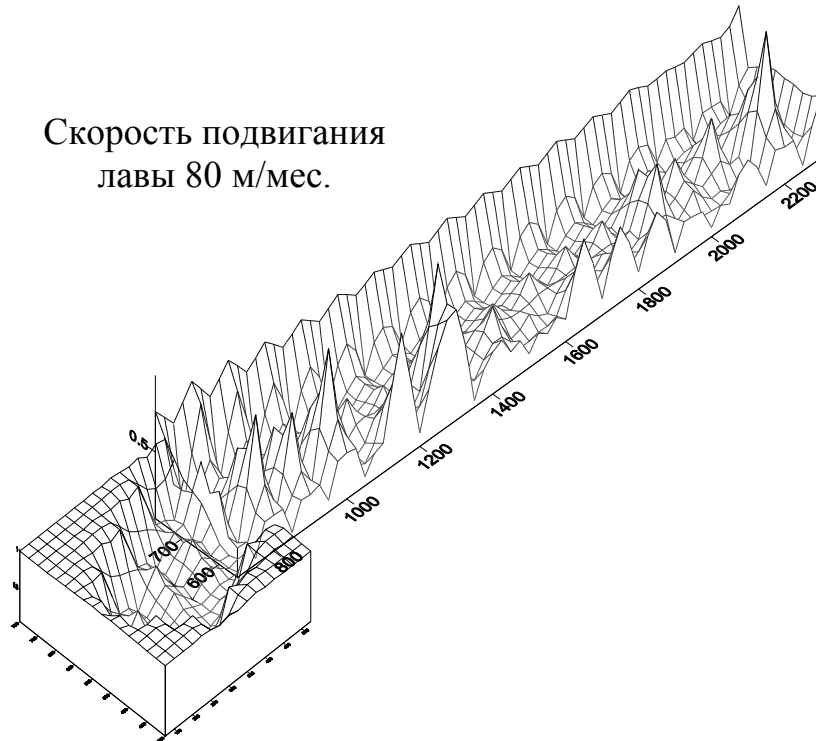


Рис. 8. Распределение высоты зоны полных обрушений основной кровли 13-й восточной лавы пласта l_1 шахты им. А.Ф. Засядько с учетом флексурной складки

В районе складки толща максимально разбита трещинами. После прохода лавой зоны складки общая картина зависаний кардинально меняется. Шаг зависаний неравномерный, высота обрушений увеличивается, зависаний становится меньше. При скорости подвигания лавы 120 м/мес. зависания и обрушения кровли будут происходить равномернее, чем при скорости подвигания лавы 160 м/мес. и 80 м/мес. Глобальные зависания могут возникнуть в начале отработки лавы (160 м/мес.) и в конце (80 м/мес.).

ВЫВОДЫ

Скорость подвигания лавы существенно влияет на характер динамики сдвижений подрабатываемой толщи: на длину зависаний и их высоту. При больших скоростях подвигания длина зависаний примерно 150 м, при малых – около 50 м. Наблюдается общая неравномерность зависаний по всей длине лавы. При уменьшении скорости подвигания уменьшается шаг зависаний. При малых скоростях появляются локальные зависания в некоторых участках лавы. Динамика газовыделения определяется скоростью подвигания лавы, чем меньше скорость, тем равномернее будет происходить газовыделение.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Земисев В.Н. Расчеты деформаций горного массива. – М.: Недра, 1973. – 144 с.
2. Зборщик М.П., Грищенко Н.Н. Компьютерное моделирование геомеханических параметров обработки свит угольных пластов // Днепропетровск: НГА Украины. – 1999. – Т. 2, №7. - С. 3 – 7.
3. Геомеханические основы предотвращения провалов земной поверхности при ликвидации шахт / Звягильский Е.Л., Минаев А.А., Назимко В.В. и др. - Донецк: ООО "Норд Компьютер", 2001. – 332 с.

4. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля, пород и газа. - М: Минуглепром СССР, 1989. - 192 с.
5. Муллер Р.А. Определение мульды сдвижения и скорости деформаций земной поверхности при движущемся забое // Сдвижение горных пород. – Л.: Изд. ВНИМИ, 1975. – Сб. 96. – С. 13-27.
6. Медянецв А.Н., Черняев В.И. Сдвижение и деформации горных пород в подрабатываемой толще // Уголь Украины. – 1961. – № 11. – С. 25–27.
7. Иофис М.А., Фастов Г.А. Характер развития деформаций в полумульде над движущимся забоем // Горное давление, сдвижение горных пород и методика маркшейдерских работ / ВНИМИ. – 1965. – Сб. 55. – С. 143-149.
8. Земисев В.Н. Современные проблемы сдвижения горных пород. // Уголь. - 1999.– № 10.– С. 23.
9. Костенич В.С., Зелепукин А.М. Результаты наблюдений за сдвижением и деформацией поверхности при большой скорости подвигания забоя и прерывной рабочей неделе // Сдвижения и деформации массива при разработке месторождений с учетом структуры и механических свойств горных пород / ВНИМИ. – 1966. – Сб. 58. – С. 137-146.
10. Петрук Е.Г. Исследование деформаций земной поверхности в мульде сдвижения по времени // Изв. вузов. горный журнал. – 1969. – № 1. – С. 40-43.
11. Мякенький В.И. Сдвижение и дегазация пород и угольных пластов при очистных работах. – Киев: Наукова думка, 1975. – 100 с.
12. Ковальски А. Деформация поверхности над быстродвигающимся фронтом горных работ // Proceedings IX Congress ISM, Praha 18.4-22.4. 1994. – С. 320-329.
13. Гавриленко Ю.Н., Папазов Н.М., Морозова Т.В. Динамика оседаний земной поверхности при большой глубине разработки и высокой скорости подвигания забоя // Проблеми гірського тиску.-Донецьк, ДонДТУ, 2000. - № 4. - С. 108-119.
14. Сдвижение массива горных пород и влияние скорости подвигания очистного забоя на выделение метана / Четверик

- М.С., Андрощук Е.В., Бубнова Е.А., Гаврюк Г.Ф. // Сб. научн. тр. НГУ. – Днепропетровск:- 2003. – вып. 16. – С. 42-53.
15. Кузяра С.В., Назимко В.В. Геомеханические основы модели обрушения пород в окрестности движущегося очистного забоя // Проблеми гірського тиску. - Донецьк, ДонНТУ. – 2003 - №10. - С. 158-171.