

УДК 622. 834: 622. 261. 222.

*к.т.н. Филатъев М. В., д.т.н. Антощенко Н. И.  
(ДонГТУ, г. Лисичанск, Украина),  
Пыжов С. В. (Минэнергоугля Украины)*

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ МАКСИМАЛЬНОГО ОСЕДАНИЯ ТОЧЕК ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ЕЁ ПОДРАБОТКЕ УГОЛЬНЫМИ ПЛАСТАМИ

*Рассмотрено математическое моделирование процесса формирования траектории максимального оседания точек земной поверхности вследствие её подработки угольными пластами.*

**Ключевые слова:** *сдвигение, земная поверхность, подработка, моделирование, траектория оседания точек, мульда сдвигения, разрезная печь, выработанное пространство.*

При отработке угольных пластов значительное внимание уделяется вопросам математического моделирования процессов сдвигения земной поверхности. Это обусловлено большой трудоёмкостью и значительными финансовыми затратами на проведение натурных наблюдений. Такая ситуация свидетельствует о перспективности и актуальности научных исследований, направленных на совершенствование методов математического моделирования. На основании использования их результатов появляется возможность разрабатывать эффективные мероприятия по рациональной подработке земной поверхности угольными пластами.

Одним из основных элементов математической модели [1] является траектория максимального оседания точек земной поверхности при развитии очистных работ. Достоверное аналитическое её описание является ключевым моментом при определении остальных параметров мульды сдвигения земной поверхности до полной её подработки (образования плоского дна). В первом приближении предполагается [2, 3], что максимальное оседание земной поверхности при её подработке пологими пластами происходит примерно над серединой очистной выработки (выработанного пространства). Наряду с этим известно, что на расположение точек максимального оседания земной поверхности оказывает влияние ещё несколько факторов. К ним,

например, относятся угол падения пласта и скорость подвигания очистного забоя. Влияние угла падения следует из схемы определения параметров мульды сдвигения при неполной подработке земной поверхности [4], а скорости подвигания очистного забоя – вследствие выполаживания мульды сдвигения и увеличения пролёта ослабленных пород в толще подработанного массива [5].

Из анализа состояния вопроса следует, что до настоящего времени траектория максимального оседания точек земной поверхности относится к одному из наименее изученных элементов математической модели. Задачей работы является на основании экспериментальных данных установить основные факторы, определяющие координаты точек траектории максимального оседания земной поверхности по отношению к проекциям границ очистных выработок. Идея состоит в проверке симметричности неподвижной и перемещающейся границы выработанного пространства относительно проекции точек максимального оседания земной поверхности при развитии очистных работ.

Методикой исследований предусматривался подбор объектов, на которых ранее были проведены экспериментальные на-

---

© Филатъев М. В., 2015

© Антощенко Н. И., 2015

© Пыжов С. В., 2015

блюдения и установлены параметры мульд сдвижения для разных стадий развития очистных работ на выемочном участке. После начала эксплуатации выемочного участка фиксировалось расстояние между разрезной печью и удаляющимся от неё очистным забоем. Параллельно с этим проводились наблюдения на земной поверхности за сдвижением реперов профильных линий, заложенных в главном сечении перпендикулярно очистному забою. Это позволило для каждого размера очистной выработки установить соответствующие параметры сдвижения земной поверхности, в том числе и положение точек с максимальным оседанием. Совокупность таких точек определяет фактическую траекторию максимального оседания земной поверхности. Эту траекторию сравнивали с расчетной, полученной в предположении максимального оседания точек земной поверхности над серединой очистной выработки. Результаты непосредственных наблюдений при развитии очистных работ на одном выемочном участке приведены в работах [3, 6-8]. Используя аналогичную методику рассмотрели также изменение параметров мульд сдвижения в пределах крыла шахтного поля при последовательной отработке нескольких выемочных участков. В этом случае профильная линия закладывалась в главном сечении параллельно очистным забоям. После отработки очередного выемочного столба выработанное пространство дискретно увеличивалось на длину остановленной лавы. Оседания в мульде земной поверхности определяли по смещению реперов после прекращения процессов сдвижения подработанных пород. Длительность этих процессов устанавливалась согласно нормативному документу [4]. Каждому размеру очистной выработки (выработанного пространства) соответствовала своя мульда сдвижения земной поверхности, согласно которой находилось расположение точки с максимальным оседанием. Совокупность таких точек определяла фактическую траекторию их максимального оседания при дискретном увели-

чении выработанного пространства на длину очередной отработанной лавы. Затем производилось сравнение экспериментально определенной траектории с расчетной, принятой в модели [1]. Исходные экспериментальные данные об оседании земной поверхности при последовательной отработке нескольких выемочных участков приведены в работе [9].

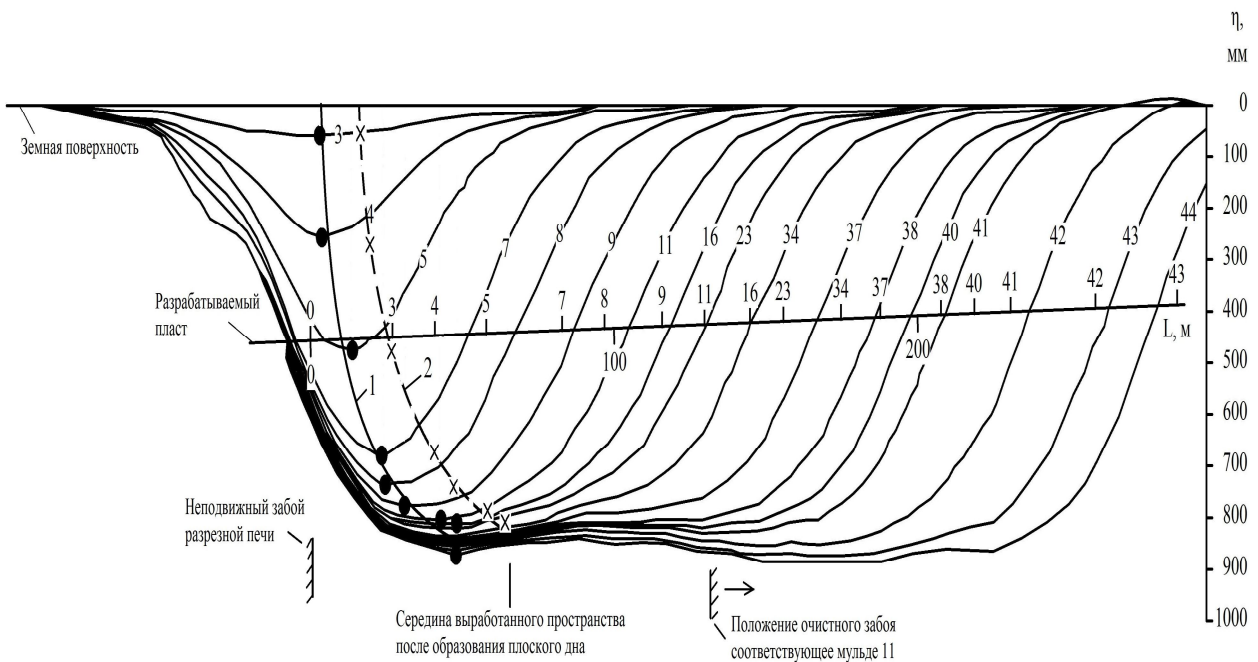
Горно-геологические условия объектов, принятых к исследованию влияния очистных работ при отработке одного выемочного участка, способствовали полной подработке земной поверхности (образованию плоского дна) [3, 6-8]. Глубина ведения очистных работ составляла  $106 \div 260$  м, мощность разрабатываемых пластов  $0,91 \div 2,10$  м, длина лав находилась в диапазоне  $150 \div 190$  м. Для рассматриваемых условий плоское дно мульды сдвижения земной поверхности образовывалось при удалении очистных забоев от разрезных печей на расстоянии  $130 \div 344$  м. Развитие процессов сдвижения земной поверхности до полной её подработки на рассматриваемых объектах происходило не одинаково. В условиях отработки угольного пласта Западного Донбасса [6], характеризующимися непрочными вмещающими породами, расположение экспериментально установленной траектории максимального оседания точек не совпадала с расчетной согласно математической модели [1]. Проекция экспериментально определённых точек максимального оседания земной поверхности располагались ближе к неподвижному забою разрезной печи по сравнению с их удалённостью от очистного забоя (рис. 1). По этой причине и фактическая кривая траектории максимального оседания (1) не совпадала с кривой (2), принятой в модели [1]. По мере удаления очистного забоя, от разрезной печи отклонения проекций максимального оседания точек земной поверхности от середины выработанного пространства увеличивались с 11 (мульда 3) до 40 м (мульда 11). После образования мульды 11 произошла полная подработка земной поверхности и последующие процессы

сдвигения земной поверхности не зависели от расстояния между разрезной печью и очистным забоем. Они определялись только подвиганием очистного забоя.

Асимметричность проекций максимального оседания точек земной поверхности относительно середины выработанного пространства свидетельствует о влиянии на процессы сдвигения подработанных пород и земной поверхности перемещающегося очистного забоя. Можно предположить, что такая асимметрия зависит от скорости его подвигания и прочностных свойств подрабатываемых пород. Аналогичные результаты в условиях непрочных вмещающих пород Западного Донбасса получены также на основании экспериментальных данных [8] для других

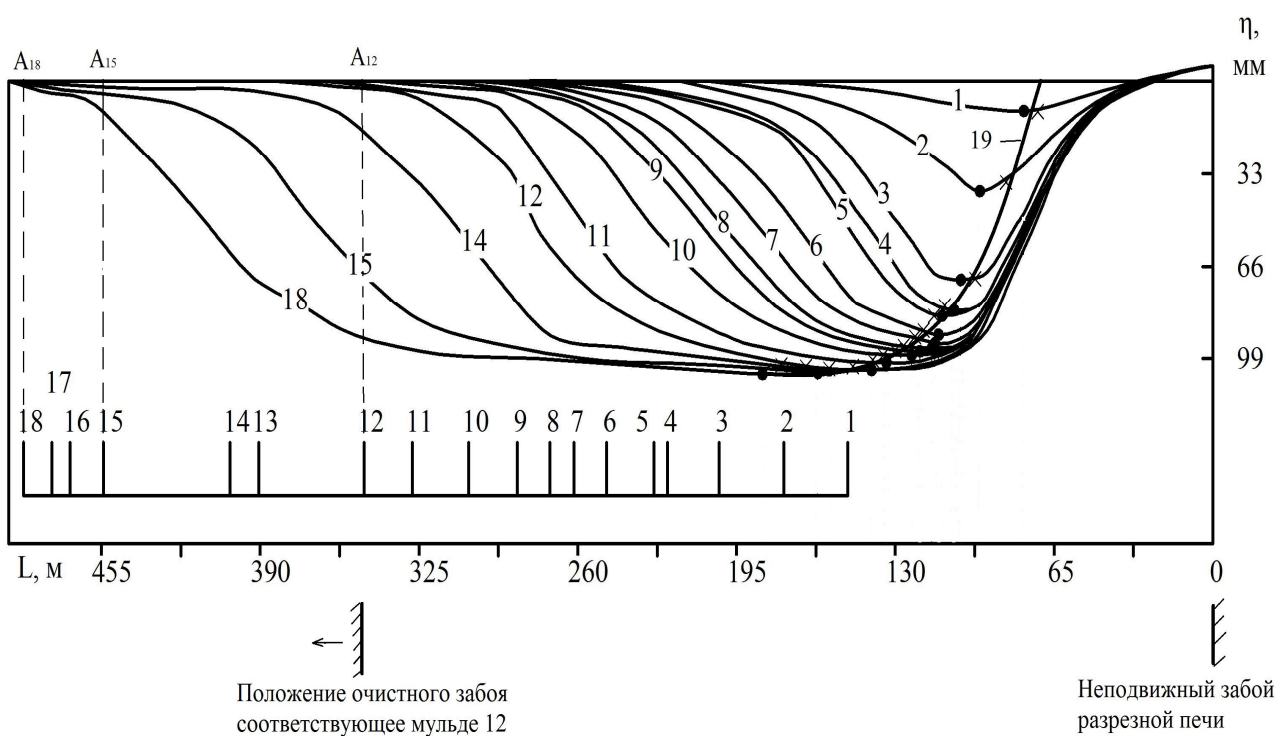
объектов при скорости подвигания очистных забоев до 80 м/мес.

Существенные отличия в формировании траектории максимального оседания точек земной поверхности наблюдались при анализе результатов экспериментальных данных в условиях более прочных вмещающих пород и высокой скорости подвигания очистного забоя (рис. 2). Эти особенности заключались в близком расположении экспериментальных точек и определённых согласно модели [1]. Такое совпадение проекций точек максимального оседания земной поверхности с серединой выработанного пространства обусловлено, очевидно, более прочными вмещающими породами и отработкой пласта по простиранию его залегания.



- 1, 2 – соответственно экспериментально определенная и расчетная траектории точек максимального оседания земной поверхности; ● – точки максимального оседания земной поверхности согласно экспериментальным данным; × – расположение точек максимального оседания согласно расчетной схеме [1]; 3-5, 7-9, 11 – положения очистного забоя и соответствующие им мульды сдвигения земной поверхности, до образования плоского дна; 16, 23, 34, 37, 38, 40-44 – положения очистного забоя и соответствующие им мульды сдвигения земной поверхности после образования плоского дна;  
 $\eta$  – оседание земной поверхности;  $L$  – удаление очистного забоя от разрезной печи;  
 → – направление подвигания очистного забоя

Рисунок 1 – Экспериментальная (1) и расчетная (2) траектории максимального оседания точек земной поверхности на примере отработки пласта  $C_6$  шахтой «Степная» согласно данным [6]



- , × – точки максимального оседания земной поверхности соответственно согласно экспериментальным данным и расчетной схеме [1]; 1-12 – положение очистных забоев и соответствующие им мульды сдвижения земной поверхности до образования плоского дна; 14, 15, 18 – положение очистных забоев и соответствующие им мульды сдвижения земной поверхности после образования плоского дна; 19 – траектория максимального оседания точек земной поверхности;  $A_{12}$ ,  $A_{15}$ ,  $A_{18}$  – точки земной поверхности, сдвижение которых начиналось при положении очистного забоя соответственно в пунктах 12, 15 и 18;  $\eta$  – оседание земной поверхности;  $L$  – удаление очистного забоя от разрезной печи; ← – направление подвигания очистного забоя

Рисунок 2 – Траектория максимального оседания точек земной поверхности на примере обработки пласта Аппалачского бассейна согласно данным [7]

Влияние высокой скорости подвигания очистного забоя (240 м/мес.) оказало влияние на выполаживание динамической полумульды над очистным забоем.

Полная подработка земной поверхности произошла примерно после образования мульды 12. Последующие формирования динамических полумульд 14, 15 и 18 зависели только от подвигания очистного забоя. Они были более пологие по сравнению со стационарной полумульдой. Кроме этого начало сдвижения точек земной поверхности  $A_{12}$ ,  $A_{15}$ ,  $A_{18}$  происходило примерно в створе с очистным забоем (рис. 2).

Шахтой им. П. Л. Войкова отработаны две группы выемочных участков по четыре лавы в каждой группе [9]. Выемка ан-

трацитового пласта  $k'_5$  мощностью 0,90 ÷ 1,14 м производилась на глубине 650 ÷ 730 м по восстанию диагонально расположенными лавами (угол между линиями падения пласта и очистными забоями 30 ÷ 60°). Длина каждой лавы первой группы составляла 139 ÷ 150 м, а второй – 190 ÷ 200 м.

Первоначальную отработку пласта произвели двумя спаренными лавами общей длиной 289 м. Затем последовательно отработали ещё две лавы длиной 142 и 146 м. При отработке этих лав были установлены параметры трёх мульд сдвижения земной поверхности [9] для выработанного пространства шириной 289, 431 и 577 м.

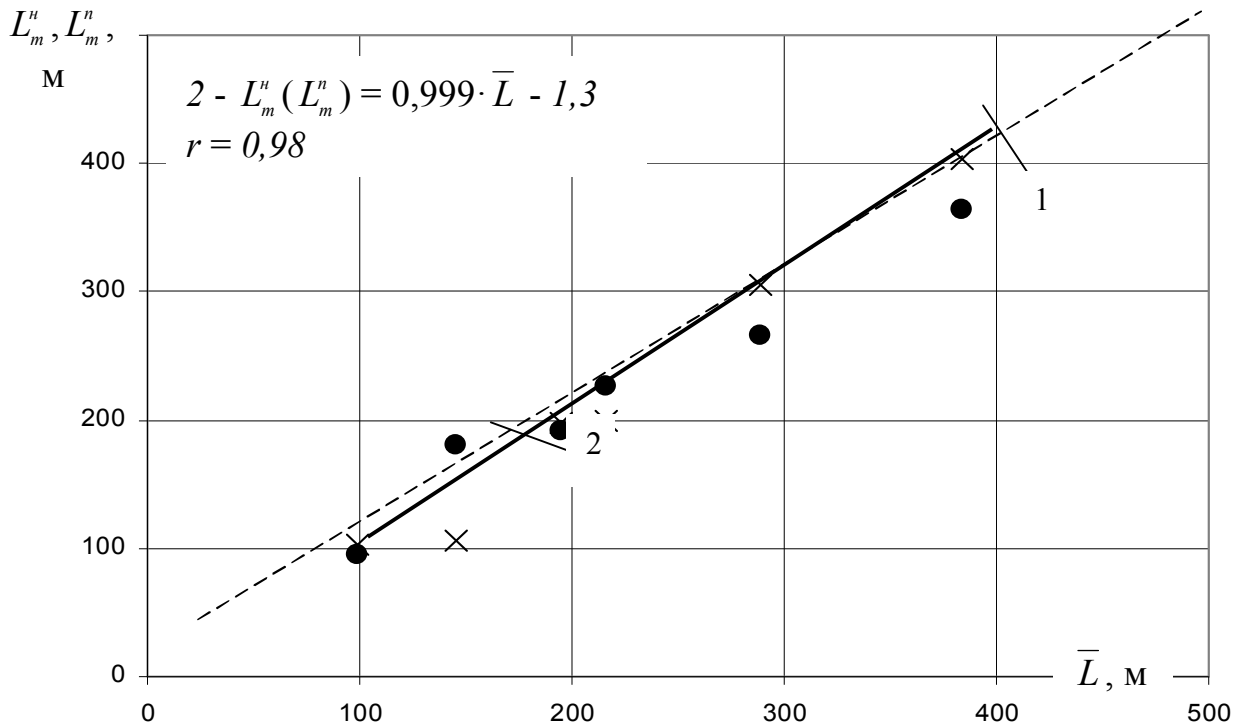
Во второй группе вначале последовательно отработали две одиночных лавы длиной 200 и 193 м, а затем – ещё две спаренных общей длиной 382 м. В результате такой выемки установлены параметры мульд сдвижения, земной поверхности [9] для выработанного пространства шириной 200, 393 и 775 м.

По мере отработки лав обеих групп измерялось расстояние от середины выработанного пространства до его границ ( $\bar{L}$ ). Положение одной границы оставалось неизменным, а вторая – перемещалась. Неподвижной границей был массив угля, примыкающий к первому отработанному участку в каждой группе лав. Вторая граница перемещалась дискретно на длину очередной отработанной лавы. Экспериментальные данные [9] позволили определить расстояния от проекции точек максимального оседания земной поверхности до каждой из границ выработанного пространства. Расстояние от проекции точек до неподвижной границы ( $L_m^H$ ) и до перемещающейся границы на длину очередной отработанной лавы ( $L_m^N$ ) были примерно одинаковыми. Это подтверждается графиком соотношения  $\bar{L}$  с  $L_m^H$  и  $L_m^N$  (рис. 3). Близость экспериментальных точек к биссектрисе координатной сетки (1) свидетельствует о максимальном оседании земной поверхности примерно над серединой выработанного пространства. Такое соответствие подтверждается и результатами совместной статической обработки методом наименьших квадратов экспериментальных данных  $L_m^H$  и  $L_m^N$  в зависимости от  $\bar{L}$ . Эмпирический коэффициент ( $r = 0,999$ ) прямой 2 примерно равен единице, что также указывает на близость этой зависимости к биссектрисе координатной сетки (рис. 3) и практическом равенстве  $L_m^H$  и  $L_m^N$ . Это равенство, очевидно, обу-

словлено диагональным расположением очистных забоев и несущественным углом падения разрабатываемого пласта ( $9^\circ$ ), что приводило к сокращению влияния этого фактора. На результаты полученных экспериментальных данных могли повлиять также высокие прочностные свойства пород, вмещающих антрацитовый пласт.

Возможное влияние угла падения разрабатываемого пласта на отклонения проекций точек максимального оседания земной поверхности от середины выработанного пространства рассмотрели на основании экспериментальных данных, полученных в условиях шахты им. Г. Г. Капустина при отработке пласта  $m_3^H$  мощностью 2,00-2,20 м на глубине 213-260 м [3]. Лава длиной 150 м отработывалась по простиранию пласта. Угол его падения составлял  $14-18^\circ$ . Линия реперов 39÷59 наблюдательной станции была заложена на земной поверхности под небольшим углом ( $20^\circ$ ) её проекции к очистному забою 6-й западной лавы (рис. 4).

Проекция точки максимального оседания земной поверхности (А) находилась на значительном расстоянии (56м) от середины выработанного пространства и была смещена в сторону падения разрабатываемого пласта. Следует также отметить несовпадение экспериментальной кривой оседания земной поверхности (1) с расчетной (2). В результате этого проекция расчетной точки максимального оседания земной поверхности находилась на расстоянии 35 м от экспериментально зафиксированной (рис. 4), что указывает на необходимость учитывать в математических моделях положение точки максимального оседания от угла падения разрабатываемого пласта. В рассматриваемом случае наблюдалось несимметричное расположение полумульд на земной поверхности относительно неподвижных границ выработанного пространства (рис. 4).

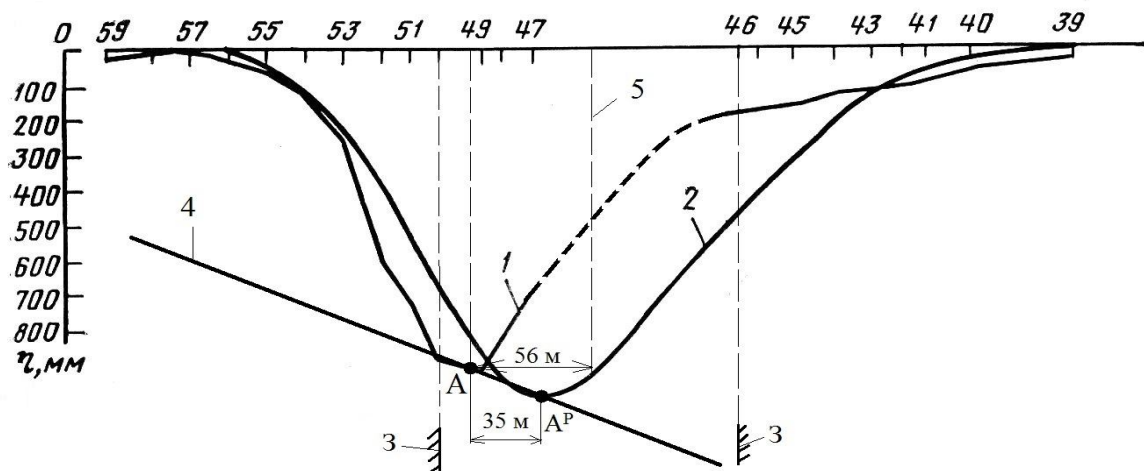


1 – биссектриса координатной сетки; 2 – осредняющая прямая согласно экспериментальным данным;  
 ×, • – экспериментальные данные соответственно для  $L_m^H$  и  $L_m^N$  при отработке пласта  $K'_5$  шахтой им. П.Л. Войкова;  $r$  – коэффициент корреляции

Рисунок 3 – Соотношение расстояния до середины выработанного пространства ( $\bar{L}$ ) и удаления проекций точек максимального оседания земной поверхности соответственно от неподвижной ( $L_m^H$ ) и дискретно перемещающейся ( $L_m^N$ ) границ выработанного пространства при отработке нескольких выемочных участков согласно данным [9]

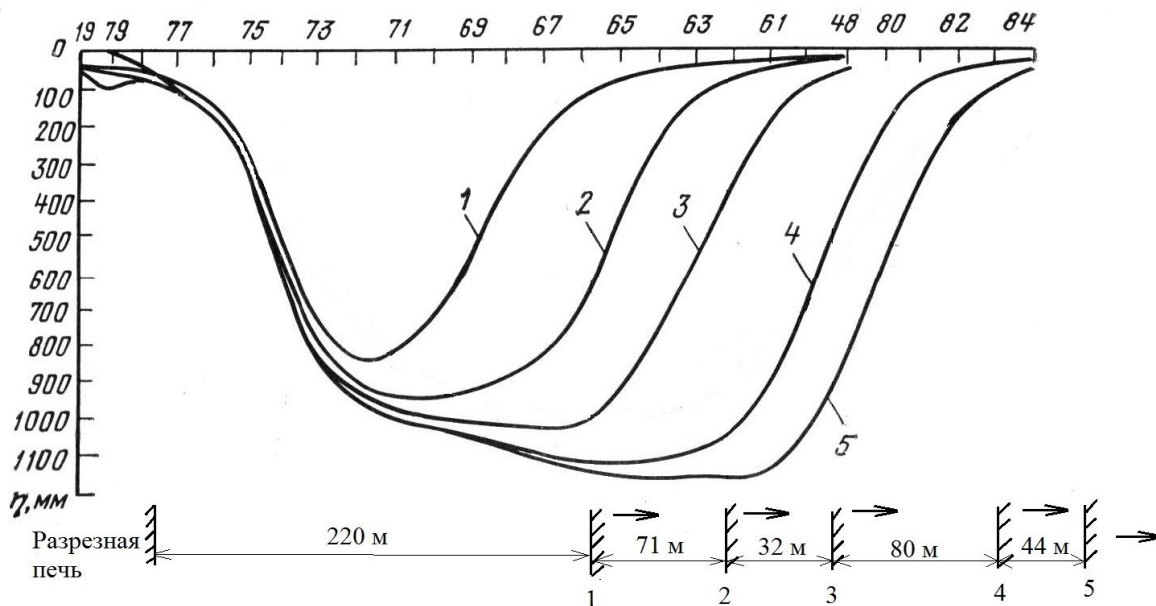
Подтверждением влияния угла падения разрабатываемого пласта на формирование траектории максимального оседания точек земной поверхности является семейство кривых мульд сдвижения земной поверхности при удалении очистного забоя 6-й западной лавы пласта  $m_3^H$  от разрезной печи [3]. Проекция профильной линии (репера №19, 79-48, 80-84) была заложена под углом  $16^\circ$  к линии простирания разрабатываемого пласта в сторону его падения. По мере удаления очистного забоя от разрезной печи наблюдалось увеличение макси-

мального оседания земной поверхности и образование плоского дна мульд сдвижения 3, 4, 5. Характерной особенностью указанных мульд было наклонное расположение плоского дна (рис. 5), что связано с влиянием угла падения разрабатываемого пласта по мере удаления проекции профильной линии от середины выработанного пространства к нижней её границе. Это подтверждается близким расположением (21 м) точки максимального оседания земной поверхности (А) к проекции нижней границы выработанного пространства (рис. 4).



1 – кривая оседания земной поверхности согласно экспериментальным данным; 2 – расчетная кривая; 3 – неподвижные границы выработанного пространства; 4 – проекция на горизонтальную плоскость профильной линии наблюдательной станции земной поверхности; 5 – проекция середины выработанного пространства;  $\eta$  – оседание земной поверхности;  $A$ ,  $A^P$  – соответственно экспериментальная и расчетная точки максимального оседания земной поверхности

Рисунок 4 – График оседания земной поверхности по линии реперов 39-59 при отработке 6-й западной лавы пласта  $m_3^H$  согласно [3]



1, 2, 3, 4, 5 – положения очистного забоя и соответствующие им мульды сдвижения земной поверхности;  $\eta$  – оседание земной поверхности;  $\rightarrow$  – направление подвигания очистного забоя

Рисунок 5 – Графики оседания земной поверхности по линии реперов 19 – 79 – 48 – 80 – 84 при отработке 6-й западной лавы пласта  $m_3^H$  согласно [3]

**Выводы:**

Ассиметричность проекций максимального оседания точек земной поверхности относительно середины выработанного пространства определяется влиянием прочностных свойств вмещающих пород, скоростью подвигания очистного забоя, углом падения разрабатываемого пласта и направлением его отработки.

При высокой скорости подвигания очистного забоя (240м/мес) сдвигание земной

поверхности начиналось в створе с очистным забоем, динамические полумульды над ним были более пологими по сравнению со стационарной полумульдой над разрезной печью.

Дискретное увеличение выработанного пространства на длину очередной отработанной лавы антрацитового пласта не влияло на смещение максимального оседания земной поверхности относительно середины выработанного пространства.

**Библиографический список**

1. Чепурная Л. А. Обобщённая схема сдвижения земной поверхности до и после образования плоского она мульды / Л. А. Чепурная, Н. И. Антощенко // Сб. научных трудов Донбасского государственного технического университета. – Алчевск, 2013. – Вып. 40. – С. 46–50.
2. Акимов А. Г. Сдвижение горных пород при подземной разработке угольных и сланцевых месторождений / А. Г. Акимов, В. Н. Земисев, Н. Н. Кацнельсон [и др.]. – М.: Недра. – 1970. – 224 с.
3. Иофис М. А. Инженерная геомеханика при подземных разработках / М. А. Иофис, А. И. Шмелёв. – М.: Недра. – 1985. – 248 с.
4. Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом: ГСТУ 101.00159226.001. – Офіц. вид. – Київ: Мінпаливенерго України, 2004. – 128 с. – (Галузевий стандарт України).
5. Дмитриев В. А. О влиянии скорости подвигания очистного забоя на смещение кровли / В. А. Дмитриев // Уголь Украины. – 1980. – №5. – С. 10–11.
6. Ларченко В. Г. Влияние подземной разработки угольных пластов на состояние земной поверхности / В. Г. Ларченко // Вестник МАНЭБ. – №4 (12). – С. 39–41.
7. Бабенко Е. В. Настройка модели для моделирования сейсмических событий техногенной природы / Е. В. Бабенко // Проблемы гірського тиску. – ДонНТУ, 2009. – №17. – С. 67–93.
8. Назаренко В. А. Закономерности развития максимальных оседаний и наклонов поверхности в мульде сдвижения / В. А. Назаренко, Н. В. Йоценко. – Днепропетровск.: НГУ. – 2011. – 91 с.
9. Борзых А. Ф. Влияние ширины выработанного пространства на акти-визацию сдвижения угленосного массива / А. Ф. Борзых, Е. П. Горовой // Уголь Украины, 1999. – №9. – С. 26–30.

**Рекомендована к печати д.т.н., проф. ДонГТУ Окалеловым В. Н., зав. каф. "РПИ" НГУ, д.т.н., проф. Бондаренко В. И.**

Статья поступила в редакцию 06.08.15.

**к.т.н. Філатєв М. В., д.т.н. Антощенко М. І. (ДонДТУ, м. Лисичанськ, Україна), Піжов С. В. (Міненерговугілля України)**

### **ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ МАКСИМАЛЬНОГО ОСІДАННЯ ТОЧОК ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ ПРИ ЇЇ ПІДРОБЦІ ВУГІЛЬНИМИ ПЛАСТАМИ**

Розглянуто математичне моделювання процесу формування траєкторії максимального осідання точок земної поверхні внаслідок її підробки вугільними пластами. Утворення мульд зрушення на земній поверхні відповідних певному положенню очистного забоя.

**Ключові слова:** зрушення, земна поверхня, підробка, моделювання, траєкторія осідання точок, мульда зрушення, розрізна піч, вироблений простір.



**PhD Filatiev M. V., Antoshchenko M. I.** (*DonSTU, Lisichansk, Ukraine*), **Pyzhov S. V.** (*Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine*)

**FORMATION PECULIARITIES FOR THE TRAJECTORY OF MAXIMUM SURFACE SUBSIDENCE DURING COAL SEAM UNDERWORKING**

*Mathematical modeling of the trajectory forming process for maximum subsidence of Earth points is studied that is caused by coal seams underworking. Appearing of displacement zones on the surface within the certain position of a breakage face is substantiated.*

**Key words:** *displacement, Earth surface, underworking, modeling, subsidence points trajectory, displacement zones, holing chute, mined-out space.*