

УДК 622.1:622.83

В.А. НАЗАРЕНКО, д-р техн.наук, проф, Е.В. СТЕЛЬМАЩУК, асп. (Национальный горный университет)

ХРОНОИЗОЛИНЕЙНАЯ МОДЕЛЬ ОСЕДАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НАД ОЧИСТНОЙ ВЫРАБОТКОЙ ПОЛОГОГО УГОЛЬНОГО ПЛАСТА

По результатам натурных инструментальных наблюдений за оседаниями земной поверхности на угольных шахтах Западного Донбасса разработана пространственно-временная модель формирования мульды сдвижения, в которой оседания поверхности отображаются линиями хроноизооседаний. По этой модели можно определить профиль мульды над движущимся очистным забоем на любую дату от начала отработки лавы.

Строительство и эксплуатация зданий и сооружений на территориях залегания полезных ископаемых производится с обязательным горно-геологическим обоснованием и соблюдением мер охраны от вредного влияния горных разработок. Неотъемлемой составляющей такого горно-геологического обоснования и основой для выбора соответствующих мер охраны подрабатываемых зданий и сооружений является расчет ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности. В настоящее время на угольных месторождениях сдвижения и деформации поверхности рассчитываются по нормативной методике Правил [1]. Применение этой методики имеет определенные ограничения. В частности, обязательным является условие закончившегося процесса сдвижения земной поверхности, что в значительной мере сужает возможности прогнозирования влияния горных разработок на подрабатываемые объекты.

Результаты расчетов не дают представления о продолжительности процесса сдвижения, не учитывают различия развития деформаций на разных участках зоны влияния очистных работ. Сами расчеты по методике [1] являются громоздкими, неудобными и не в полной мере учитывают особенности процесса сдвижения в отличающихся горно-геологических условиях отработки угольных месторождений.

В результате маркшейдерских исследований на угольных месторождениях разработан ряд способов расчета сдвижений и деформаций поверхности над движущимся очистным забоем. Основные положения этих способов расчета для условий Центрального Донбасса изложены в работах [2, 3, 4], для Львовско-Волынского угольного бассейна – [5], Западного Донбасса – [6, 7]. Указанные исследования выполнены для условий стадии синхронного сдвижения, когда в мульде сформировалось плоское дно и профиль движущегося крыла мульды остается неизменным и перемещается совместно с очистным забоем. Область формирования мульды, образуемая при отходе лавы от разрезной печи, остается малоизученной.

Если рассмотреть всю мульду сдвижения в целом, то окажется, что область ее формирования занимает значительную площадь. Согласно Правилам подработки [1] при пологом залегании разрабатываемого угольного пласта и отсутствии наносов размер L области формирования мульды в направлении подвигания очистного забоя составляет

$$L = L_1 + L_2, \quad (1)$$

где $L_1 = (H + \frac{D_1}{2} \sin \alpha) \cdot [ctg \beta_0 + ctg(\phi_1 + \alpha)]$; H – средняя глубина разработки, м;
 $L_2 = (H - \frac{D_1}{2} \sin \alpha) \cdot [ctg \gamma_0 + ctg(\psi_2 - \alpha)]$; D_1 – размер очистной выработки вкрест
 простирания, м; α – угол падения пласта, град.; γ_0, β_0 – граничные углы соответственно
 по падению и восстанию, град.; ψ_1, ψ_2 – углы полных сдвижений, град.

При глубине разработки 200 м и $\alpha = 0^\circ$ размер L составит 460 м, а при $H = 500$ м – $L = 1160$ м. Эти расчеты выполнены по угловым параметрам Западного Донбасса. Если учесть мощность наносов, а они в Западном Донбассе составляют 50-200 м, то размеры области формирования мульды в направлении подвигания очистного забоя окажутся значительно больше. Из приведенного примера видно, что в мульде сдвижения на земной поверхности имеется значительная область, в которой закономерности сдвижения и деформирования поверхности остаются неизученными.

За время эксплуатации месторождения Западного Донбасса сотрудниками кафедры маркшейдерии НГУ выполнен большой объем натуральных маркшейдерских наблюдений за сдвижением земной поверхности над очистными горными выработками, которые отрабатывались в различных горно-геологических условиях. Всего за время изучения сдвижения горных пород и земной поверхности на шахтах Западного Донбасса заложено 34 наблюдательных станции, состоящих из 70 профильных линий (без учета специальных наблюдательных станций №№ 27-34, заложенных над крупными тектоническими нарушениями и станции № 18, на которой наблюдения не проводились) и 3934 грунтовых реперов. На станциях выполнено 498 серий наблюдений, включая кратковременные (частотные) наблюдения.

Наблюдательные станции подработаны очистными горными работами по пластам мощностью от 0,60 до 1,20 м. Глубина разработки пластов по станциям изменяется от 100 до 550 м, мощность наносов – 50-200 м, угол падения пластов – 2-5°. Управление горным давлением – полное обрушение. Скорость подвигания очистных забоев составляла 30-80 м/мес.

Исходя из общепринятых представлений о процессе сдвижения земной поверхности и основных влияющих факторах, нами разработана методика пространственно-временного моделирования сдвижения земной поверхности [8, 9], основанная на результатах натуральных маркшейдерских наблюдений. Эта методика позволяет создать графическую модель развития оседаний над движущимся очистным забоем.

Графическая модель относится к главному сечению мульды по направлению движения очистного забоя лавы и представляет собой систему изолиний, оцифрованных в десятых долях максимального оседания при закончившемся процессе сдвижения. Эти изолинии указывают одинаковые величины оседания поверхности на любой момент времени от начала отработки лавы (рис. 1).

Ось ординат модели является осью состояния земной поверхности, зависящего от отношения D_t/H (где D_t – текущий размер выработанного пространства), и косвенно указывает время, т.к. величина D_t является функцией времени t ($D_t = c \cdot t$, где c – скорость подвигания очистного забоя). На наш взгляд, эту ось целесообразно оцифровывать именно в долях отношения D_t/H , поскольку скорость c при отработке лавы может изменяться в широких пределах. По оси абсцисс модели откладываются расстояния L от проекции разрезной печи лавы (точка с координатой "0") до точек земной поверхности, отнесенные к глубине разработки H . В сторону подвигания очистного забоя расстояния откладываются со знаком "плюс", в сторону массива – со знаком "минус".

Физический смысл изолиний модели состоит в том, что они характеризуют время и место образования в мульде оседаний, значения которых кратны $0,1\eta_m$. Мы сочли целесообразным назвать эти изолинии линиями "хроноизооседаний".

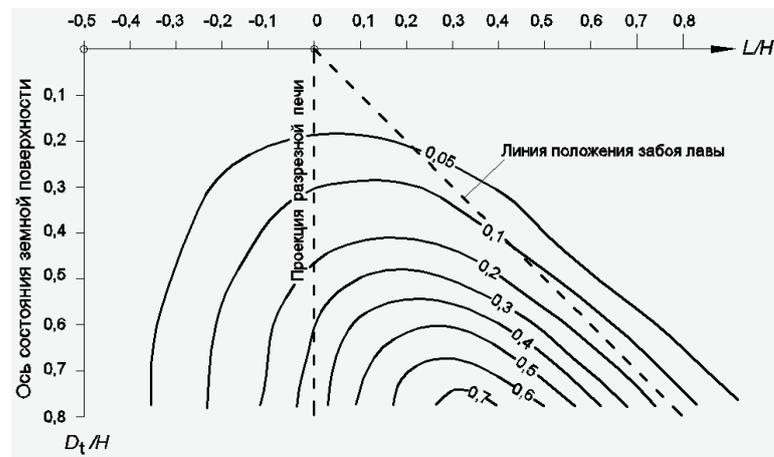


Рис. 1. Модель развития оседаний поверхности при формировании мульды сдвижения над движущимися забоями 605 и 607 лав пласта c_6' шахты "Юбилейная"

Построенная модель сдвижения позволяет определить оседания земной поверхности на любой произвольный момент времени t . Для этого достаточно знать размер выработанного пространства D_t и глубину заложения разрезной печи H . На графике рис. 1 проводим горизонтальную линию с ординатой D_t/H , находим точки ее пересечения с линиями хроноизооседаний и по значениям этих изолиний откладываем вниз величины оседаний. Линия, соединяющая концы отложенных отрезков, образует профиль мульды сдвижения на момент времени t .

Недостатком созданной пространственно-временной модели является то, что она приемлема только для условий, в которых были получены результаты натурных маркшейдерских наблюдений, положенные в основу модели, т.е. в условиях отработки 605 и 607 лав пласта c_6' шахты "Юбилейная".

Различие горно-геологических условий подработки земной поверхности в районах закладки наблюдательных станций обязательно отражается на результатах натурных инструментальных наблюдений. Известно, что основными факторами, влияющими на процесс сдвижения горных пород и земной поверхности, являются: глубина разработки, вынимаемая мощность пласта, угол падения пласта, размеры выработанного пространства, литологический состав пород подрабатываемой толщи, скорость подвигания забоя очистной выработки и др.

В разработанной модели различие глубин разработки учтено приведением линейных размеров модели к единичному виду по глубине; влияние вынимаемой мощности компенсируется делением измеренных оседаний поверхности на величину максимального оседания при закончившемся процессе сдвижения. Это параметр так же учитывает различие степени подработанности в направлении вкрест подвигания забоя лавы, т.к. размер лавы по направлению движения забоя во всех анализируемых случаях обеспечивает полную подработку земной поверхности. Литологический состав толщи в районах выполнения инструментальных наблюдений изменяется незначительно, т.к. все наблюдательные станции заложены в пределах одного месторождения, которое, к тому же, характеризуется незначительным изменением углов падения пород.

Отличительная особенность месторождения угля Западного Донбасса – наличие наносов, мощность которых изменяется в широких пределах и, согласно существующим представлениям о сдвижении горных пород и земной поверхности,

оказывает значительное влияние на параметры сдвижения. В разработанной модели наносы не учитывались, но как показал анализ точности построения модели, этот недостаток не является критическим и не отразился на точности определения оседаний.

По результатам исследований процесса сдвижения в Западном Донбассе создан ряд аналогичных моделей, отражающих формирование мульды оседания на шахтах "Степная", "Юбилейная", "Першотравнева". Линии хроноизооседаний этих моделей, сведенные в единую систему координат, показаны на рис. 2.

Как видно из рисунка, линии хроноизооседаний с одинаковыми отметками по разным наблюдательным станциям располагаются близко друг от друга, а в некоторых случаях совпадают. Этот факт свидетельствует о "работоспособности" модели в различных горно-геологических условиях Западного Донбасса и дает предпосылки к созданию общей для шахт Западного Донбасса модели оседания земной поверхности над движущимся очистным забоем.

Каждая группа одноименных изолиний, приведенных на рис. 2, была рассмотрена отдельно, и по принципу простой арифметической середины определена результирующая линия хроноизооседаний. Вся совокупность результирующих линий образует обобщенную модель, которая позволяет определять место и время возникновения на земной поверхности оседаний определенной величины над движущимся очистным забоем на стадии формирования мульды сдвижения. Эта модель, названная нами хроноизолинейной, показана на рис. 3.

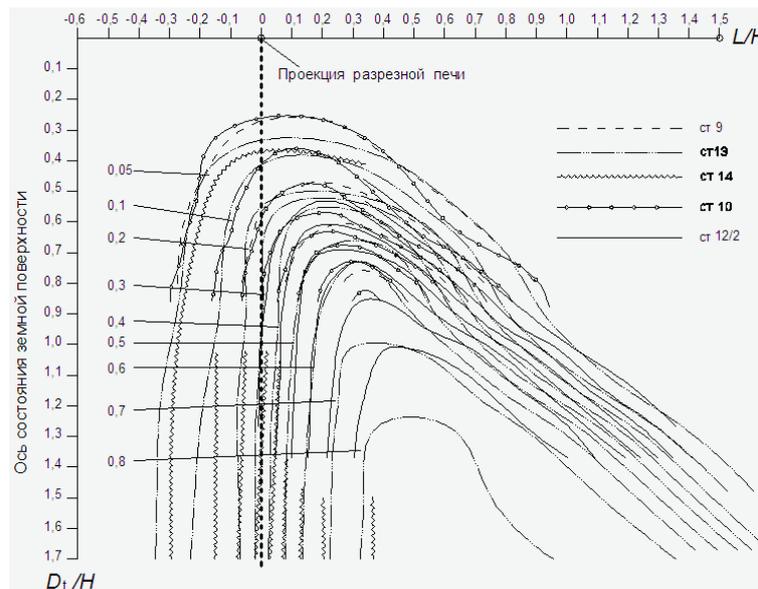


Рис. 2. Совмещенная модель процесса оседания земной поверхности

Нами выполнен анализ точности линий хроноизооседаний обобщенной модели. При этом определялось среднеквадратическое отклонение исходных изолиний от результирующей по оси абсцисс, т.е. погрешности планового положения. Ввиду того, что в верхней "замковой" части изолинии выполаживаются, отклонения определялись в горизонтальных сечениях модели, имеющих некоторый отступ от "замка" изолиний. Анализ показал, что с наибольшими погрешностями определено положение изолиний с отметками 0,05 и 0,1. Погрешности определения планового положения изолинии 0,05 изменяются от 0,11 до 0,6 (в долях глубины H). Для остальных изолиний диапазон изменения погрешностей составляет $(0,01-0,05)H$.

Для определения положения верхних (замковых) точек линий хроноизооседаний использованы результаты выполненных ранее исследований максимальных оседаний в

области формирования мульды сдвижения. Согласно [10] положение и величина максимального оседания в формирующейся мульде описывается линией относительных максимальных оседаний, показанной на рис. 3. Погрешность, с которой эта линия описывает максимальные оседания, не превышает $\pm 5\%$ как по величине, так и по положению.

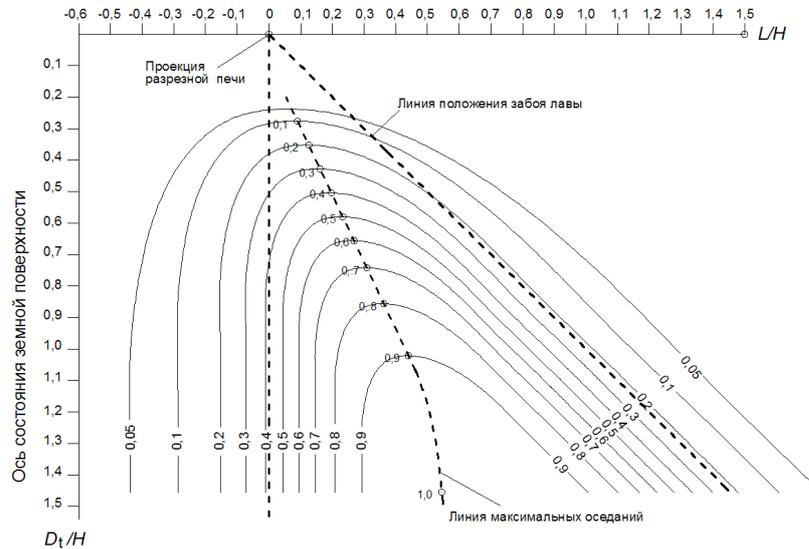


Рис. 3. Хроноизолинейная модель процесса оседания земной поверхности

Выводы

В результате выполненных исследований на основании анализа натуральных инструментальных маркшейдерских наблюдений за оседанием земной поверхности на угольных шахтах Западного Донбасса разработана хроноизолинейная модель формирования мульды сдвижения. Эта модель позволяет определять профиль кривой оседания в главном сечении мульды над движущимся очистным забоем при любом его положении относительно разрезной печи.

Разработанная модель может быть использована для прогнозирования ожидаемых оседаний поверхности без выполнения сложных и громоздких математических расчетов. Аналогов в маркшейдерской практике хроноизолинейная модель не имеет.

Опыт и методология исследований, полученные при разработке модели оседания, позволяют разработать модели развития деформаций поверхности и создать целостную методику определения сдвижений и деформаций поверхности на мало изученной стадии формирования мульды.

Результаты выполненных исследований могут быть использованы для разработки модели процесса сдвижения на угольных шахтах Львовско-Волынского месторождения и районов Центрального Донбасса с горизонтальным и пологим залеганием угольных пластов.

Библиографический список

1. Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом / Отраслевой стандарт. – К.: Мінпаливенерго України, 2004. – 127 с.
2. Авершин С.Г. Некоторые свойства процесса сдвижения горных пород и вопросы расчета сдвижений / С.Г.Авершин // Сборник трудов по вопросам исследования горного давления и сдвижения горных пород. – 1961. – Сб. 43. – С. 3-21.

3. Батугин С.А. Сдвигения и деформации земной поверхности и горных пород над движущимся забоем / С.А. Батугин // Сборник статей по вопросам исследования горного давления и сдвига горных пород. – 1962. – Сб. 47. – С. 159-199.
4. Гавриленко Ю.Н. Динамика оседаний земной поверхности при большой глубине разработки и высокой скорости подвигания забоя / Ю.Н.Гавриленко, Н.М.Папазов, Т.В.Морозова / Проблемы гірського тиску. – Донецк: ДонГТУ – 2000. - Вып. 4. – С. 108-119.
5. Иофис М.А. Научные основы управления деформационными и дегазационными процессами при разработке полезных ископаемых / М.А.Иофис. – М.: Изд. ИПКОН, 1984. – 230 с.
6. Петрук Е.Г. Исследование деформаций земной поверхности в мульде сдвига по времени / Е.Г.Петрук // Изв. вузов. Горный журнал. – 1969. – № 1. – С. 40-43.
7. Назаренко В.А. Интерпретационная модель мульды сдвига над движущимся очистным забоем / В.А.Назаренко // Маркшейдерский вестник. – 2001. – №3. – С. 46-49.
8. Стельмашук Е.В. Пространственно-временное моделирование мульды сдвига при ее формировании / Е.В.Стельмашук, В.А.Назаренко // Геотехнічна механіка: Межвід. зб. наук. праць. Ін-т геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 72. – С. 25-31.
9. Назаренко В.А. Моделирование формирования мульды сдвига земной поверхности над движущимся очистным забоем / В.А.Назаренко, Е.В.Стельмашук / Проблемы гірського тиску.– Вип.17. – Донецьк, ДонНТУ, 2009. – 8 с.
10. Назаренко В.А., Кучин А.С., Балафин И.Е. Закономерности изменения максимальных оседаний и наклонов на стадии формирования мульды сдвига / В.А.Назаренко, А.С.Кучин, И.Е.Балафин / Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – Донецьк, УкрНДМІ НАН України, 2009. – Вип. 5 (ч.1). – 7 с.

Надійшла до редколегії 29.11.2009

В.О. НАЗАРЕНКО, Е.В. СТЕЛЬМАЩУК

ХРОНОІЗОЛІНІЙНА МОДЕЛЬ ОСІДАНЬ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ НАД ОЧИСНОЮ ВИРОБКОЮ ПОЛОГОГО ВУГІЛЬНОГО ПЛАСТУ

За результатами натурних інструментальних спостережень за осіданням земної поверхні на вугільних шахтах Західного Донбасу розроблена просторово-часова модель формування мульди зрушення, у якій осідання поверхні відображаються лініями хроноізоосідань. За цією моделлю можна визначати профіль мульди над рухомим очистним вибоєм на будь яку дату від початку відробки лави.

V. NAZARENKO, E. STELMASHCHUK

A CHRONOIZOLINEAR MODEL OF THE EARTH SURFACE SUBSIDENCE ABOVE A STOPE WORKING OF HORIZONTAL COAL SEAMS

According to the results of instrumental observations of the earth surface subsidence in coal mines in Western Donbass we developed a spatial-temporal model of subsidence, where subsidence of the surface is presented as chronoizo-subsidence lines.

© В.А. Назаренко, Е.В. Стельмашук, 2010