



**М. В. ФИЛАТОВ,**  
канд. техн. наук  
(Донбасский ГТУ)



**Н. И. АНТОШЕНКО,**  
доктор техн. наук  
(Донбасский ГТУ)



**С. В. ПЫЖОВ,**  
аспирант  
(Минэнергоуголь Украины)

УДК 622.23

## Сдвигение земной поверхности при отработке угольных пластов

Приведен анализ корреляционных зависимостей между факторами, определяющими сдвигение земной поверхности при выемке угольных пластов. Статистически обработаны известные сведения натуральных наблюдений за сдвижением земной поверхности и данные математического моделирования этих процессов.

**Ключевые слова:** сдвигение, земная поверхность, корреляционный анализ, подработка, угольные пласты.

**Контактная информация:** mfilatov@gmail.com

горных работ. Такая неопределенность указывает на недостаточную изученность рассматриваемого вопроса и исключает возможность учитывать влияние других факторов.

Используя некоторые экспериментальные данные, можно установить степень влияния горно-геологических и горнотехнических факторов на параметры формирования мульды сдвижения земной поверхности.

**Цель работы** – определить условия, при которых начинается сдвигение земной поверхности.

Зафиксировать место (точку) начала сдвижения земной поверхности с помощью современных приборов крайне сложно. Поэтому для обработки использовали данные натуральных наблюдений за сдвижением земной поверхности [2–14] и данные математического моделирования этих процессов. В табл. 1 приведены горно-геологические и горнотехнические условия проведения экспериментов и результаты их обработки.

По результатам (см. табл. 1) и расчетным схемам сдвижения земной поверхности [2, 4, 9, 15] определяли характерные точки кривой мульды сдвижения земной поверхности. К таким характерным точкам земной поверхности относится и место начала ее сдвижения. Согласно расчетной схеме [15] расположение этой точки на земной поверхности можно рассчитать с помощью экспериментальной кривой траектории максимального оседания земной поверхности при удалении очистного забоя от разрезной печи. По пересечению траектории с осью абсцисс получают проекцию искомой точки начала сдвижения земной поверхности  $l_n$  по отношению к разрезной печи [16]. Этому положению рассматриваемой точки соответствует некоторое удаление очистного забоя от разрезной печи, которое при отработке пологих пластов примерно равно  $2l_n$ .

Расстояния между очистными забоями и разрезными печами определяли двумя способами по экспериментальным данным для конкретных условий траектории максимальных оседаний точек земной поверхности.

- *Первый способ.* Точку пересечения траектории с осью абсцисс вычислили по усредняющей кривой (способ графического выравнивания) с учетом расположения экспериментальных точек. Считали, что определенные таким образом по экспериментальным данным расстояния между очистными забоями и разрезными печами  $2l_n^э$  в максимальной степени соответствуют их фактическим значениям (см. табл. 1).

- *Второй способ.* Для каждого объекта методом наименьших квадратов рассчитали эмпирические коэффициенты экспоненциально-

Установление параметров очистных выработок и других влияющих факторов на сдвигение земной поверхности при выемке угольных пластов – актуальная задача при разработке мероприятий по защите подрабатываемых объектов. Согласно нормативному документу [1] начало сдвижения земной поверхности происходит при удалении очистных забоев от разрезных печей на расстояние, равное 0,1–0,3 глубины  $H$  ведения

Таблица 1

| Шахта, пласт, лава                             | Марка угля $M$<br>и его условный индекс | Мощность<br>пласта $m$ , м | Угол падения<br>пласта $\alpha$ , ° | Глубина<br>работ $H$ , м | Длина лавы $L_{гр}$ , м | Скорость продвижения<br>забоя $v_{оч}$ , м/мес | Мощность<br>наносов $m_{гр}$ , м | Расстояния, м, между<br>очистным забоем<br>и разрезной печью<br>на начало сдвижения<br>земной поверхности,<br>определенные разными<br>способами |              |          |          |          |
|--|---|----------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------|--|----------------------------------|---|--------------|----------|----------|----------|
|  |   |                            |                                     |                          |                         |  |                                  | $2l_H^э$  | $2l_H^{max}$ | $2l_H^1$ | $2l_H^2$ | $2l_H^3$ |
| «Белозерская» [2]                              | Д 1                                     | 1,30                       | 12                                  | 420                      | -                       | 63   | 65                               | -   | -            | 176      | 208      | -        |
| № 22 «Коммунарская», $k_3$ [3, 4, 5]           | Т 6                                     | 1,47                       | 20                                  | 652                      | 305                     | 45   | 14                               | -   | -            | 274      | 258      | -        |
| «Степная», $c_6$ [6]                           | Г 2                                     | 0,91                       | 4                                   | 106                      | 150                     | 57   | 50                               | 42  | 46           | 44       | 60       | 44       |
| Аппалачского бассейна (США) [7]                | -                                       | 1,65                       | -                                   | 220                      | 190                     | 240  | 20                               | 300   | 282          | 92       | 210      | 298      |
| «Грамотеинская» (Россия), Сычевский-III [8]    | Д 1                                     | 4,50                       | 4                                   | 220                      | 210                     | 210  | -                                | -   | -            | 92       | 82       | -        |
| Grimberg 2/3 (Германия, Рурский бассейн) [10]  | -                                       | 2,20                       | -                                   | 920                      | 330                     | 125  | -                                | -   | -            | 386      | 384      | -        |
| «Сташиц» (Польша), 352 [10]                    | -                                       | 2,10                       | -                                   | 480                      | 275                     | 105  | -                                | -   | -            | 202      | 194      | -        |
| «Степная», $c_6$ , 715-я, 713-я лавы [9]       | Г 2                                     | 0,95                       | 3                                   | 190                      | -                       | -  | 75                               | 80  | 92           | 80       | -        | -        |
| «Степная», $c_6$ , 606-я лава [9]              | Г 2                                     | 1,05                       | 3                                   | 120                      | -                       | 55   | 50                               | 70  | 74           | 50       | 62       | -        |
| «Степная», $c_6$ , 604-я лава [9]              | Г 2                                     | 0,92                       | 3                                   | 150                      | -                       | -  | 50                               | 58  | 60           | 64       | -        | -        |
| «Першотравнева», $c_4$ [9]                     | Г 2                                     | 0,63                       | 3                                   | 140                      | -                       | 61   | 70                               | 44  | 46           | 58       | 90       | -        |
| «Юбилейная», $c_1$ [9]                         | Г 2                                     | 0,95                       | 3                                   | 135                      | -                       | -  | 55                               | 64  | 68           | 56       | -        | -        |
| «Юбилейная», $c_6$ [9]                         | Г 2                                     | 0,71                       | 3                                   | 250                      | -                       | 49   | 80                               | 100   | 110          | 106      | 142      | -        |
| «Юбилейная», $c_6$ , 530-я лава [9]            | Г 2                                     | 1,00                       | 3                                   | 150                      | 206                     | 20   | 85                               | 64  | 70           | 64       | 58       | 70       |
| Им. А. Ф. Засядько, $m_3$ [10]                 | Ж 3                                     | 2,10                       | 10                                  | 1195                     | 250                     | 90   | 15                               | -   | -            | 502      | 444      | -        |
| Им. М. В. Фрунзе, $h_8$ [11]                   | А 7                                     | 1,40                       | 11                                  | 900                      | 200                     | 53   | -                                | 380   | 364          | 387      | 392      | 260      |
| Им. П. Л. Войкова, $k_5$ [12]                  | А 7                                     | 1,00                       | 9                                   | 690                      | 175                     | 48   | -                                | 350   | 340          | 290      | 346      | 276      |
| Им. Г. Г. Капустина, $l_3^H$ [13]              | Г 2                                     | 2,10                       | 16                                  | 260                      | 150                     | 67   | -                                | 60  | 64           | 110      | 82       | 62       |
| Им. С. М. Кирова, «Болдыревский» (Россия) [14] | -                                       | 1,70                       | 6                                   | 205                      | 135                     | 26   | -                                | -   | -            | 86       | 60       | -        |
| № 9 ПО «Скуратовуголь» (Россия) [14]           | -                                       | 2,85                       | 2                                   | 50                       | 70                      | 26   | -                                | 30  | 28           | 22       | 4        | 30       |

го уравнения зависимости максимального оседания земной поверхности  $\eta_{max}$  от расстояния между очистным забоем и разрезной печью  $2l_H^{max}$ . Расстояние  $l_H^{max}$  на момент начала сдвижения земной поверхности определяли согласно полученным зависимостям из условия, что  $\eta_{max} = 0$  [16].

Принципиально эти два способа определения размера очистной выработки, при котором начинается сдвижение земной поверхности, почти равноценны. Подтверждение – функциональная зависимость (коэффициент корреляции  $r = 1$ ) между  $l_H^э$  и  $l_H^{max}$  (табл. 2).

Кроме этих двух способов, наиболее точно определяющих размер очистных выработок на момент начала оседания земной поверхности, во время анализа использовали эмпирические зависимости [16, 17], которые учитывали разное количество влияющих факторов.

• *Третий способ.* Для этого способа использовали наиболее простое уравнение, учитывающее только глубину  $H$  ведения очистных работ [17],

$$l_H^1 = 0,21H. \quad (1)$$

• *Четвертый способ.* В этом способе зависимость, приведенная ниже, учитывает влияние глубины ведения очистных работ  $H$ , мощности разрабатываемого пласта  $m$  и скорости продвижения очистного забоя  $v_{оч}$  [16]:

$$l_H^2 = [H(0,329 - 0,096m)/0,223](0,002 v_{оч} + 0,145). \quad (2)$$

• *Пятый способ.* Учитывает одновременное влияние на траекторию максимального оседания  $\eta_{max}$  точек земной поверхности и размеров очистной выработки  $l_1$  и  $l_2$  [17]. Зная один из них (длину лавы или выемочного столба) и определив для конкретного объекта эмпирическое уравнение траектории максимального оседания точек земной поверхности, можно рассчитать расстояние  $l_H^3$ , которое соответствует началу сдвижения земной поверхности при  $\eta_{max} = 0$ . Такие расчеты выполнены для семи выемочных участков (табл. 3).

Оказалось, что результаты определения пятью рассмотренными способами расстояний  $l_H^э$ ,  $l_H^{max}$ ,

Таблица 2

| Факторы           | Парные коэффициенты корреляции $r$ между факторами |        |                   |        |            |                 |          |            |                |            |            |            |
|-------------------|--|--------|-------------------|--------|------------|-----------------|----------|------------|----------------|------------|------------|------------|
|                   | $M$  | $m, м$ | $\alpha, \dots^0$ | $H, м$ | $L_{л}, м$ | $v_{оч}, м/мес$ | $m_H, м$ | $l_H^3, м$ | $l_H^{max}, м$ | $l_H^1, м$ | $l_H^2, м$ | $l_H^3, м$ |
| $M$               |  | -0,15  | 0,51              | 0,66   | 0,28       | -0,33           | -0,71    | 0,99       | 0,99           | 0,66       | 0,71       | 0,99       |
| $m, м$            | 15*  |        | 0,09              | 0,13   | -0,01      | 0,53            | -0,80    | 0,02       | -0,004         | 0,13       | -0,06      | -0,31      |
| $\alpha, \dots^0$ | 15*  | 17*    |                   | 0,61   | 0,59       | -0,03           | -0,68    | 0,51       | 0,50           | 0,61       | 0,53       | 0,40       |
| $H, м$            | 15*  | 20*    | 17*               |        | 0,65       | 0,06            | -0,62    | 0,87       | 0,89           | 1,00       | 0,96       | 0,71       |
| $L_{л}, м$        | 8*   | 13*    | 10*               | 13*    |            | 0,28            | -0,51    | 0,56       | 0,57           | 0,65       | 0,63       | 0,58       |
| $v_{оч}, м/мес$   | 12*  | 17*    | 14*               | 17*    | 13*        |                 | -0,53    | 0,40       | 0,38           | 0,06       | 0,17       | 0,57       |
| $m_H, м$          | 11*  | 12*    | 10*               | 12*    | 5*         | 9*              |          | -0,64      | -0,60          | -0,61      | -0,70      | -0,79      |
| $l_H^3, м$        | 11*  | 13*    | 13*               | 13*    | 7*         | 10*             | 9*       |            | 1,00           | 0,87       | 0,96       | 0,97       |
| $l_H^{max}, м$    | 11*  | 13*    | 13*               | 13*    | 7*         | 10*             | 9*       | 13*        |                | 0,89       | 0,97       | 0,96       |
| $l_H^1, м$        | 15*  | 20*    | 17*               | 20*    | 13*        | 17*             | 12*      | 13*        | 13*            |            | 0,96       | 0,71       |
| $l_H^2, м$        | 15*  | 17*    | 14*               | 17*    | 12*        | 17*             | 9*       | 10*        | 10*            | 17*        |            | 0,89       |
| $l_H^3, м$        | 5*   | 7*     | 6*                | 7*     | 7*         | 7*              | 3*       | 7*         | 7*             | 7*         | 7*         |            |

**Примечание.** Звездочкой обозначено количество пар обработанных данных.

$l_H^1, l_H^2, l_H^3$  для разных горно-геологических и горнотехнических условий в большинстве случаев достаточно близки между собой (см. табл. 1). Для определения рассматриваемого параметра очистной выработки  $2l_H$  в эмпирических уравнениях применяли четыре фактора:  $H, m, v_{оч}, l_1$  или  $l_2$ .

В уравнениях (1), (2) и табл. 3 их использовали в разном количестве и сочетании. Для оценки влияния других факторов дополнительно провели корреляционный анализ возможного влияния степени метаморфизма угля, угла падения пластов и мощности наносов.

Таблица 3

| Шахта, пласт, лава                              | Уравнение траектории максимального оседания точек земной поверхности | Корреляционное отношение $R$ | $l_H^3, м$ |
|---|--|------------------------------|------------|
| «Степная», $c_6$ [6]                            | $\eta_{max}/m = 0,94 - 1,75 \exp[-2,11(l_1 l_2 / H^2)]$              | 0,998                        | 22         |
| Аппалачского бассейна (США) [7]                 | $\eta_{max}/m = 0,65 - 9,62 \exp[-4,61(l_1 l_2 / H^2)]$              | 0,997                        | 149        |
| «Юбилейная», $c_6^1$ , 530-я лава [9]           | $\eta_{max}/m = 0,96 - 1,53 \exp[-1,45(l_1 l_2 / H^2)]$              | 0,989                        | 35         |
| Им. М. В. Фрунзе, $h_8$ [11]                    | $\eta_{max}/m = 0,88 - 0,94 \exp[-0,41(l_1 l_2 / H^2)]$              | 0,948                        | 130        |
| Им. П. Л. Войкова, $k_5^1$ [12]                 | $\eta_{max}/m = 0,69 - 0,87 \exp[-0,84(l_1 l_2 / H^2)]$              | 0,969                        | 138        |
| Им. Г. Г. Капустина, $m_3^H$ [13]               | $\eta_{max}/m = 0,59 - 0,72 \exp[-2,85(l_1 l_2 / H^2)]$              | 0,995                        | 31         |
| № 9 ПО «Скуратовуголь» (Россия), 76-я лава [14] | $\eta_{max}/m = 0,74 - 1,61 \exp[-1,85(l_1 l_2 / H^2)]$              | 0,992                        | 15         |

Анализ корреляционной взаимозависимости исходных горно-геологических и горнотехнических факторов ( $M, m, \alpha, H, L_{л}, v_{оч}, m_{н}$ ) показал, что она характеризуется коэффициентами корреляции  $r$  в широком диапазоне. По абсолютному значению  $|r| = 0,01...0,80$  (см. табл. 2). Это свидетельствует о том, что рассматриваемая выборка исходных данных в некоторых случаях может неоднозначно характеризовать взаимные корреляционные связи и не исключена их случайность при высоких значениях  $r$ . Чтобы избежать ошибочных выводов, полученных на основании обработки рассматриваемой выборки, детально оценили тесноту взаимных корреляционных связей между исходными горно-геологическими и горнотехническими факторами.

Связь марочного состава углей установили по присвоенным им условным индексам (от 1 до 7) в порядке возрастания степени метаморфизма от длиннопламенных углей (Д) до антрацитов (см. табл. 1). Тесноте связи между марочным составом и другими исходными факторами ( $m, \alpha, H, L_{л}, v_{оч}, m_{н}$ ) соответствовали значения  $|r|$  в интервале от 0,15 до 0,71. Считали, что некоторая связь имеется при значениях  $r$  около 0,50. Она является сильной, если  $r \geq 0,70$ , и почти функциональной при  $r \geq 0,90$ . Максимальная корреляционная зависимость установлена между марочным составом и мощностью наносов ( $r = -0,71$ ). Исходя из геологических процессов углеобразования такая связь теоретически не может существовать. Кроме того, она получена по обработке девяти пар данных, шесть из которых относятся к одной марке угля (см. табл. 1 и 2). Статистическая обработка для рассматриваемого случая выполнена для ограниченного количества пар данных (четырёх), что и повлияло на высокое значение  $r$ . Поэтому установленную высокую корреляционную зависимость ( $r = -0,71$ ) необходимо отнести к случайной и ее не следует принимать во внимание во время окончательных выводов.

По аналогичным причинам были получены высокие коэффициенты корреляции между марочным составом и углом падения ( $r = 0,51$ ), а также глубиной ведения очистных работ ( $r = 0,66$ ). Учитывая отсутствие должного научного обоснования и незначительное количество статистически обработанных информативных пар данных, можно утверждать, что высокая корреляционная зависимость между марочным составом углей и отдельными исходными факторами ( $\alpha, H, m_{н}$ ) случайна, и ее нельзя считать достоверной. На основании этого следует, что исходный массив данных не является информативным и не позволяет установить достоверное влияние марочного состава на рассматриваемые параметры ( $I_{н}^{\alpha}, I_{н}^{\max}, I_{н}^1, I_{н}^2, I_{н}^3$ ). Можно констатировать, что высо-

кие коэффициенты корреляции ( $r = 0,66...0,99$ ) – случайные для рассматриваемой выборки.

Аналогично были установлены случайные корреляционные связи рассматриваемых параметров ( $I_{н}^{\alpha}, I_{н}^{\max}, I_{н}^1, I_{н}^2, I_{н}^3$ ) с мощностью наносов  $m_{н}$  и углом падения  $\alpha$  пластов (см. табл. 2). Отметим взаимную корреляцию ( $r = 0,65$ ) между глубиной ведения очистных работ  $H$  и длиной лавы  $L_{л}$ . Оба эти фактора (исходя из логических рассуждений, теоретических обоснований и экспериментальных наблюдений) влияют на рассматриваемый параметр  $I_{н}$ . По этой причине, несмотря на некоторую взаимную корреляцию между  $H$  и  $L_{л}$ , представляет научный и практический интерес оценка степени влияния каждого из этих факторов на искомый параметр  $I_{н}$ . Рассматривать эту пару факторов ( $H$  и  $L_{л}$ ) в дальнейшем необходимо в связи с тем, что их совместно применяли для определения  $I_{н}^3$  (см. табл. 3).

Учитывая изложенные аргументы и результаты предварительного анализа массива исходных данных (см. табл. 1 и 2), к достоверно установленным корреляционным связям искомого параметра  $I_{н}$  можно отнести их зависимости от мощности пласта  $m$ , глубины ведения горных работ  $H$ , скорости подвигания забоя  $v_{оч}$  и второго размера очистной выработки (в рассматриваемом случае  $L_{л}$ ).

Максимально влияет на размер очистной выработки, при котором начинается сдвигание земной поверхности, глубина  $H$  ведения горных работ ( $r = 0,71...1,00$ ). Влияние длины лавы  $L_{л}$  характеризуется коэффициентами корреляции в диапазоне 0,56–0,65. Степень влияния скорости подвигания очистного забоя  $v_{оч}$  менее значима ( $r = 0,06...0,57$ ), а мощность разрабатываемого пласта  $m$  почти отсутствует ( $|r| = 0,00...0,31$ ).

Такие выводы подтверждают и результаты определения  $I_{н}^1, I_{н}^2$  и  $I_{н}^3$  в соответствии с разными эмпирическими уравнениями. В этих уравнениях единственный общий параметр – глубина ведения очистных работ  $H$ , а в зависимости (2) дополнительно учитываются мощность разрабатываемого пласта  $m$ , скорость подвигания очистного забоя  $v_{оч}$ , а при определении  $I_{н}^3$  – два размера очистной выработки  $l_1, l_2$  и  $m$  (см. табл. 3). Использование дополнительных факторов ( $m, v_{оч}, l_1$  и  $l_2$ ), кроме  $H$ , во многих случаях мало повлияло на определение  $2I_{н}$  (см. табл. 1). Это подтверждают и высокие коэффициенты корреляции (см. табл. 2) между  $I_{н}^1, I_{н}^2$  и  $I_{н}^3$  ( $r = 0,71...0,96$ ).

Отметим, что полученные результаты корреляционного анализа отражают зависимости только незначительной выборки горно-геологических и горнотехнических условий по сравнению с возможным разнообразием условий отработки угольных месторождений. Предположим, что с увеличением глубины ве-

дения очистных работ изменяется и степень влияния отдельных факторов на процессы сдвижения подрабатанных пород. Например, мощность разрабатываемого пласта может играть главную роль при ведении очистных работ на малых глубинах, а при переходе на глубокие горизонты роль этого фактора существенно снижается. Это свидетельствует о том, что в некоторых специфических условиях для повышения точности расчетов необходимо учитывать дополнительные факторы. Подтверждение этого – результаты полученных корреляционных зависимостей  $l_n$ , определенных разными способами. Наиболее достоверные значения  $l_n^a$  и  $l_n^{\max}$  связь между ними характеризуется функциональной зависимостью ( $r = 1$ ).

Если рассчитывать  $l_n^1$  с помощью только одного параметра  $H$  (см. уравнение (1)), то связь  $l_n^1$  с  $l_n^a$  и  $l_n^{\max}$  определялась коэффициентами корреляции соответственно равными 0,87 и 0,89. Если же к расчетам привлечь дополнительные факторы ( $m$ ,  $v_{оч}$  или  $l_1$ ,  $l_2$ ), то коэффициенты корреляции увеличиваются до 0,96–0,97 (см. табл. 2). Это указывает на необходимость при определении начала сдвижения земной поверхности учитывать дополнительно, кроме глубины ведения горных работ  $H$ , мощность разрабатываемого пласта  $m$ , скорость подвигания забоя  $v_{оч}$  и два размера очистной выработки.

**Выводы.** Начало сдвижения земной поверхности для конкретных горно-геологических и горнотехнических условий определяется некоторыми размерами  $2l_n$  очистной выработки (выработанного пространства).

Главный фактор, определяющий  $l_n$  – глубина ведения очистных работ  $H$ . Зависимость  $l_n = f(H)$  – прямо пропорциональна.

Дополнительные факторы, которые необходимо учитывать при отработке угольных пластов в специфических условиях, – мощность разрабатываемого пласта  $m$ , скорость подвигания забоя  $v_{оч}$  и второй размер очистной выработки (выработанного пространства).

Для разработки мероприятий по безопасной подработке земной поверхности угольными пластами необходима методика определения начала сдвижения земной поверхности, комплексно учитывающая влияющие факторы ( $H$ ,  $m$ ,  $v_{оч}$ ,  $l_1$ ,  $l_2$  и др.).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом. – Офіц. вид. – К., 2004. – 128 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України).
2. Гавриленко Ю. Н. Прогнозирование сдвижений земной поверхности во времени / Ю. Н. Гавриленко // Уголь Украины. – 2011. – № 6. – С. 45–49.

3. Кулибаба С. Б. Временные параметры интенсивной стадии процесса сдвижения земной поверхности / С. Б. Кулибаба, М. Д. Рожко // Наукові пр. УкрНДМІ НАН України. – 2011. – № 9 (ч. I). – С. 173–179.
4. Кулибаба С. Б. Характер развития процесса сдвижения земной поверхности во времени над движущимся очистным забоем / С. Б. Кулибаба, М. Д. Рожко, Б. В. Хохлов // Наукові пр. УкрНДМІ НАН України. – 2010. – № 7. – С. 40–54.
5. Кулибаба С. Б. Опыт подработки наклонных стволов / С. Б. Кулибаба // Наукові пр. УкрНДМІ НАН України. – 2010. – № 6. – С. 67–72.
6. Ларченко В. Г. Влияние подземной разработки угольных пластов на состояние земной поверхности / В. Г. Ларченко // Вестник МАНЭБ. – СПб., 1998. – № 4 (12). – С. 39–41.
7. Бабенко Е. В. Настройка модели для моделирования сейсмических событий техногенной природы / Е. В. Бабенко // Проблеми гірського тиску. – 2009. – № 17. – С. 67–93.
8. Ягунов А. С. Исследование влияния высоких скоростей подвигания очистного забоя на характер и параметры процесса сдвижения поверхности / А. С. Ягунов // Вестник НЦ по безопасности работ в угольной промышленности. – 2007. – № 2. – С. 36–43.
9. Назаренко В. А. Закономерности развития максимальных оседаний и наклонов поверхности в мульде сдвижения / В. А. Назаренко, Н. В. Йощенко. – Днепропетровск: НГУ, 2011. – 91 с.
10. 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 // Проблеми гірського тиску. – 2000. – № 4. – С. 108–119.
11. Аверин Г. А. Влияние слоистости на оседание земной поверхности / Г. А. Аверин, П. Н. Кирьязов, О. Г. Доценко // Уголь Украины. – 2010. – № 10. – С. 34–35.
12. Борзых А. Ф. Влияние ширины выработанного пространства на активизацию сдвижения угленосного массива / А. Ф. Борзых, Е. П. Горовой // Уголь Украины. – 1999. – № 9. – С. 26–30.
13. Иофис М. А. Инженерная геомеханика при подземных разработках / М. А. Иофис, А. И. Шмелев. – М.: Недра, 1985. – 248 с.
14. Авершин С. Г. Сдвижение горных пород и земной поверхности в главнейших угольных бассейнах СССР / [С. Г. Авершин, Д. А. Казаковский, М. В. Коротков и др.]. – М.: Углетехиздат, 1958. – 251 с.
15. Чепурная Л. А. Обобщенная схема сдвижения земной поверхности до и после образования плоского дна мульды / Л. А. Чепурная, Н. И. Антощенко // Сб. науч. трудов Донбасского ГТУ. – Вып. 40. – С. 46–50.
16. Чепурная Л. А. Определение условий начала сдвижения земной поверхности при отработке угольных пластов / Л. А. Чепурная, М. В. Филатьев, Н. И. Антощенко // Уголь Украины. – 2014. – № 4. – С. 7–9.
17. Чепурная Л. А. О подработке земной поверхности антрацитовыми пластами / Л. А. Чепурная, М. В. Филатьев, Н. И. Антощенко // Уголь Украины. – 2014. – № 6. – С. 3–7.