



УДК 622.28.044

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ КОМБИНИРОВАННОЙ КРЕПИ КАПИТАЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК УГОЛЬНЫХ ШАХТ

### ECONOMIC ESTIMATE OF APPLICATION OF COMBINED SUPPORT SYSTEM IN PERMANENT WORKINGS OF COAL MINES

**А.В. Смирнов<sup>1</sup>, А.Е. Григорьев<sup>2</sup>**  
**A.V. Smirnov<sup>1</sup>, A.E. Grigoriev<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ДТЭК Энерго, Украина, 01032, г. Киев, ул. Льва Толстого 57, Бизнес Центр 101 Тауэр

<sup>2</sup> Национальный горный университет, Украина, 49005, г. Днепропетровск, пр. К.Маркса, 19

<sup>1</sup> DTEK Energy, Business Center 101 Tower, 57 Lva Tolstogo St, Kiev, 01032, Ukraine

<sup>2</sup> National Mining University, 19, K. Marx ave., Dnipropetrovsk, 49005, Ukraine

Email: grigoriev.nmu@gmail.com

*Ключевые слова:* показатель устойчивости выработки, рамная крепь, анкерная крепь, набрызгбетон, тампонаж, затраты на крепление и поддержание выработки.

*Key words:* stability factor of a mine working, frame support, roof bolting, shotcreting, tamping, and expenditures connected with construction of the working and its maintenance.

*Аннотация.* Обоснован выбор критерия оценки устойчивости подземных горных выработок. Представлены результаты наблюдения за состоянием капитальной выработки с различными видами крепи на шахте им. Героев Космоса компании ДТЭК. Детально описаны характерные особенности видов крепи. Выполнен сравнительный анализ рассчитанных суммарных затрат на крепление и поддержание выработки для экспериментальных участков с рамной и рамно-анкерной крепью. Получена зависимость показателя устойчивости от прямых затрат на крепление и поддержание выработки для различных видов крепи. Путем анализа зависимости обоснован наиболее экономически эффективный для данных условий вариант рамно-анкерной крепи.

*Resume.* Criterion selection to assess stability of underground mine workings has been substantiated. Observation results as for permanent working state with various support types in Geroev Kosmosa mine (DTEK Company) have been set out. The characteristic features of support types are described in detail. Comparative analysis of calculated total expenditures connected with sink of the working and its maintenance for every experimental site has been carried out. Dependence of stability factor on direct expenditures connected with construction of the working and its maintenance for various support types has been developed. Stability of sites with roof bolting is preferable as compared to those without it. The most cost-effective variant of arch roof bolting for these conditions is justified by analyzing the quadratic dependence. The economic effect of the introduction of a hip mount compliant with elongated struts with an additional gain of 5 anchors in the roof and shotcrete was \$ 334.0 per meter.

## Введение

Практическая ценность результатов исследований зачастую определяется их экономической эффективностью, оценка которой в простейшем случае выполняется путем расчета разности стоимости исходного и предложенного (обоснованного) решения. В случаях же, когда имеет место некоторое множество сравниваемых результатов, одним из способов нахождения наиболее эффективного (сбалансированного) варианта является метод одномерного поиска оптимума некоторой функции, позволяющей найти наиболее приемлемое сочетание стоимости и долговременной эксплуатационной устойчивости объекта, который в исследуемом случае является капитальная протяженная выработка. Такой функцией в первом приближении является:

$$\omega = f(E), \quad (1)$$

где  $\omega$  – показатель устойчивости выработки,  $E$  – суммарные затраты на крепление и ремонт горной выработки.

Показатель устойчивости  $\omega$ , определяемый в [Шашенко и др., 2002] как отношение длины участков выработки, не требующих ремонта крепи, к полной ее длине, несмотря на кажущуюся простоту, достаточно полно характеризует состояние выработки в целом:

$$\omega = \frac{L - L_{\text{к}}}{L}, \quad (2)$$



где  $L$  и  $L_k$  – соответственно полная длина выработки и длина участков с крепью, не соответствующей требованиям правил безопасности.

Здесь при  $\omega=0$  выработка полностью неустойчива, при  $\omega=1$  – полностью устойчива.

Суммарные затраты на крепление и поддержание выработки  $E$  в формуле (1) рассчитываются в первом приближении следующим образом:

$$E = K + P, \tag{3}$$

где,  $K$  и  $P$  – затраты на крепление (капитальные) и ремонт (эксплуатационные) выработки соответственно. Затраты, связанные с проведением выработки, при любом варианте крепи считаются одинаковыми.

### Объект и методы исследований

Для определения капитальных затрат на крепление и эксплуатационных на ремонт было обустроено 9 наблюдательных участков в пределах второго западного магистрального откаточного штрека (2 ЗМОШ) горизонта 370 м на шахте им. ГЕРОЕВ КОСМОСА ПАО «ДТЭК ПАВЛОГРАДУГОЛЬ», общая длина которой на момент проведения исследований составляла более 3,0 км. Полевая выработка размещена между отрабатываемыми пластами  $C_9$  и  $C_{10}^B$  вне зоны влияния очистных работ в породах, представленных алевролитами, аргиллитами, песчаниками с угольными прослоями, характеристики которых представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Мощность и предел прочности на одноосное сжатие пород, вмещающих 2 ЗМОШ шахты «им. Героев Космоса»**

Table 1

**Thickness and breaking strength for uniaxial compression of rocks inclosing 2nd main western haulage gate (MWHG) in Geroev Kosmosa mine**

Наименование пород	Мощность, м	Прочность пород на одноосное сжатие, МПа
Породы кровли		
1. Песчаник	0.0–0.20	27.4–31.2
2. Алевролит	1.0–3.07	16.0–25.8
3. Песчаник	0.0–1.4	8.7–19.3
4. Аргиллит	1.6–6.83	13.8
Породы почвы		
5. Песчаник	0.0–2.5	27.4–31.2
6. Алевролит	0.0–4.15	16.0–25.8
7. Аргиллит	0.0–1.0	11.0–21.4
8. Угольный прослой	0.0–0.20	нет данных
9. Алевролит	0.0–2.8	16.0–25.8

В целом по длине выработки вмещающие породы, не смотря на некоторые различия в прочностных характеристиках, характеризуются как неустойчивые и склонные к обрушению и пучению независимо от мощности и типа пород в окрестности выработки. Поведение массива, проявления горного давления при прочих равных условиях на различных участках в целом подобны качественно и мало разнятся количественно независимо от вида пород, будь-то относительно прочный, но маломощный песчаник, или в целом близкие по свойствам алевролит или аргиллит. Для чистоты эксперимента наблюдение осуществлялось за участками, геометрические параметры и физико-механические свойства пород которых максимально близки.

На контрольном участке (поз. 1, табл. 2) длиной 100 м (ПК 320...330 при длине пикета 10 м) крепь выработки соответствовала базовому паспорту крепления выработки и представляла собой рамы КШПУ-М17.7 из профиля СВП №33 с шагом установки 0.5 м и железобетонной затяжкой. Стоит также отметить, что во избежание влияния различных конфигураций крепи на поведение массива в области перехода одного вида системы крепления к другому, каждый последующий участок наблюдения выбирался не менее чем в 20 м от предыдущего. При этом с каждой стороны зоны исследований оставался участок длиной не менее 10 м, закрепленный той же крепью, но не учитывающийся при проведении наблюдений.

На других участках (поз 2...9, см. табл. 2) варьировались системы усиления крепи и сечение профиля СВП. Так, например, на участке №2 общей длиной 40 м (ПК 332...336) плотность установки рам КШПУ-М 17.7 (СВП №33) уменьшилась по сравнению с контрольным участком с 2 р/м до 1.5 р/м с дополнительным усилением крепи путем тампонажа закрепного пространства. На участке №3 длиной 35 м (ПК 340...343+5) был использован профиль №27 с шагом установки рам 0.5 м, а в качестве затяжки применялась решетчатая сетка с последую-



щим нанесением набрызгбетонного покрытия. Аналогичная система крепи использовалась и на 4-ом участке длиной 35 м (ПК 347...350+5), но шаг крепи составил 0.75 м.

Таблица 2

**Характеристики крепи, объемы ремонтных работ, суммарные затраты на крепление и ремонт, и показатели устойчивости для наблюдательных участков 2 ЗМОШ шахты «им. Героев Космоса»**

Table 2

**Characteristics of support, maintenance amounts, total expenditures connected with timbering and maintenance, and stability factors for observational sites of 2nd MWHG in Geroev Kosmosa mine**

№ участка	№ профиля СВП	Шаг установки рам крепи	Тип затяжки / элементы усиления крепи	Длина участков перекрепления (на 100 м), L <sub>кр</sub> , м	Длина участков подрывки (на 100 м), L <sub>пр</sub> , м	Средняя высота подрывки, м	Сметная стоимость крепления, К, млн. руб./100 п.м.	Сметная стоимость ремонтных работ, Р, млн. руб./100 п.м.	Суммарная сметная стоимость, Е, млн. руб./100 п.м.	Показатель устойчивости φ
1	33	2	ж/б / нет	24	100	0.95	5.139	2.862	8.001	0.38
2	33	2	ж/б / тампонаж	6	82	0.77	6.834	1.251	8.088	0.56
3	27	2	сетка / набрызг-бетон	6	68	0.5	6.708	0.741	7.752	0.63
4	27	1.5		20	58	0.77	6.099	1.416	7.515	0.61
5	27	1.0		18	46	0.53	5.622	0.864	6.486	0.68
6	22	1.5	сетка /	22	48	0.67	6.141	1.182	7.326	0.65
7	22	1.0	5 анкеров,	27	69	0.77	5.265	1.419	6.684	0.52
8	19	1.5	набрызг-бетон	38	54	0.75	5.814	1.503	7.314	0.54
9	19	1.0		39	63	0.8	5.046	1.821	7.056	0.49

На участках 5...9 в качестве усиления крепи использовались анкера, устанавливаемые в кровлю в межрамном пространстве в количестве 5 штук, а в качестве затяжки – решетчатая сетка с последующим нанесением набрызгбетона двумя слоями общей толщиной 250 мм. На участке №5 длиной 50 м (ПК 360...ПК 365) шаг установки крепи из профиля СВП №27 составил 1 м. Участки №6 (ПК 367...372) и №7 (ПК 374...379) были закреплены крепью КШПУ из профиля СВП №22 плотностью установки 1.5 р/м и 1.0 р/м соответственно. На участках №8 и №9, длиной 40 м каждый (ПК 382...386 и ПК 388...392), использовался профиль СВП №19, а шаг установки крепи составлял 0.75 и 1.0 м соответственно.

Наблюдение выполнялось маркшейдерской службой шахты в период с 2012 по 2014 год. Результаты измерений заносились в соответствующие журналы, где фиксировались величина подъема почвы и опускания кровли, разрушение элементов крепи, искривление рельсового пути, а также разрушение затяжки (для участков №1 и №2) и набрызгбетонного слоя (участки №3...9). Замеры высоты подрывки выполнялись с шагом не менее 1 м, а для последующей обработки рассчитывалась средняя величина. Объемы перекрепления определялись в соответствии с зафиксированным в журналах количеством снятых и установленных заново рам крепи. Величина проседания кровли по результатам замеров оказалась незначительной и не превышала 300 мм.

По результатам наблюдения отмечено, что на всех участках в той или иной мере проявилось пучение и на каждом из них имело место разрушение элементов крепи. Общие объемы подрывки и перекрепления в пересчете на 100 погонных метров выработки представлены в таблице 2.

Фактические затраты зависят от горно-геологических и горнотехнических условий строительства и эксплуатации выработки. Более того, ввиду различных подходов к определению трудоемкости работ, которые часто регламентируются внутренним распорядком на шахте, в одних и тех же условиях итоговые стоимостные параметры могут различаться. Отличными являются также комплексы оборудования даже для одних и тех же способов проходки, крепле-



ния и ремонта, разряды привлекаемых специалистов и нормы дополнительных расходов. Поэтому для расчета затрат уместнее использовать усредненные стоимостные показатели ресурсных элементных сметных норм [ДБН Д.2.2-35-99, 2000], являющиеся нормативными для составления инвесторской документации шахт на территории Украины.

### Результаты и их обсуждение

Для расчета сметной стоимости крепления и ремонта для каждого из вариантов крепей наблюдательных участков, на основании действующих с 01.01.2014 г. нормативных документов [ДСТУ Б. Д.1.1-1:2013, 2013] с использованием лицензированного и рекомендуемого Министерством регионального развития, строительства и жилищно-коммунального хозяйства Украины программного комплекса «Строительные технологии-СМЕТА», сформированы локальные сметы. Для каждого из вариантов с использованием (2) был рассчитан и коэффициент устойчивости  $\omega$  (см. табл. 2), а также сформирован график функции (1) (рис.).

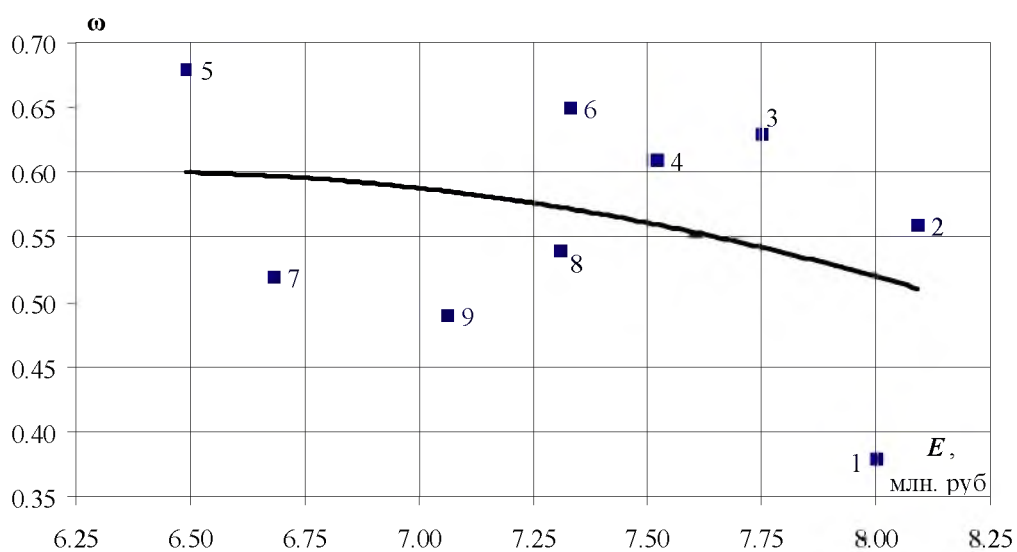


Рис. Зависимость показателя устойчивости  $\omega$  от суммарных затрат на крепление и поддержание наблюдательных участков 2 ЗМОШ шахты «им. Героев Космоса» (1...9 – варианты крепи участков (см. табл. 1))

Fig. Dependence of stability factor  $\omega$  of total expenditures connected with timbering and maintenance of observational sites within 2nd MWHG in Geroev Kosmosa mine (1 to 9 are alternatives of site timbering (table 1))

Полученная зависимость суммарных затрат от показателя устойчивости описывается квадратичной функцией вида:

$$y = ax^2 + bx + c, \tag{4}$$

где  $a = -2.57$ ,  $b = 1.08$ ,  $c = -5.32$  – коэффициенты аппроксимации.

### Выводы

Анализируя полученную зависимость и результаты наблюдения можно отметить следующие особенности:

- устойчивость участков с анкерной крепью, как по показателю устойчивости, так и по стоимости крепления и ремонта выгодно отличаются от участков без анкеров;
- контрольный участок с паспортной крепью без усиления является наименее устойчивым и наряду с участком №2 оказывается наиболее затратным;
- оптимальным является 5-й вариант: крепь КШПУ-М-17.7 из профиля №27 с шагом установки 1.0 м при сетчатой затяжке с набрызгбетоном и 5 анкерами в кровле. Графически именно эта точка лежит ближе всего к математическому максимуму функции

$$(\max = c - \frac{b^2}{4a} = -5.21);$$



- аппроксимирующая кривая в пределах показателя устойчивости изменяется не более чем на 10%. Однако затраты при этом сокращаются на 1 602 тыс. руб. на 100 п.м. При сравнении полученных абсолютных значений показателя устойчивости и затрат для оптимального (участок №5) и паспортного (участок №1) вариантов крепи устойчивость выработки возросла в 1.79 раза;

- при увеличении шага установки крепи при прочих равных условиях устойчивость выработки снижается, однако несколько уменьшаются и суммарные затраты.

Таким образом, полученный экономический эффект от внедрения крепи КШПУ-М 17.7 с дополнительным усилением 5 анкерами в кровле и набрызгбетоном составил 16.02 тыс. руб./п.м. в ценах по состоянию на 01.01.2014 года, что безусловно заслуживает внимания с точки зрения эффективности предпринимаемых мер по сокращению себестоимости угольной продукции.

#### Список литературы References

1. Шашенко А.Н., Тулуб С.Б., Сдвижкова Е.А. 2002. Некоторые задачи статистической геомеханики. Киев, Универ. изд-во «Пульсары», 304.

Shashenko A.N., Tulub S.B., Sdvizhkova E.A. 2002. Nekotoryie zadachi statisticheskoy geomehaniki [Some problems of statistical geomechanics]. Kiev, Univer. izd-vo "Pulsary", 304.

2. ДБН Д.2.2-35-99. 2000. Горнопроходческие работы: строительные нормы. Сборник 35. Киев, Управление реформирования ценообразования, методологии экспертизы и контроля стоимости строительства Госстроя Украины, 488.

DBN D.2.2-35-99. 2000. Mining Workings: Construction Standards. Volume 35. Kiev, Management of Price Determination Reforming; Evaluation Technique and Control of Construction Cost of State Construction of Ukraine, 488.

3. ДСТУ Б. Д.1.1-1:2013. 2013. Правила визначення вартості будівництва. Київ, Мінрегіон України, 88.

DSTU B. S.1.1-1:2013. 2013. Rules to Determine Construction Cost. Kyiv, Minrehion Ukrayiny, 88.