

УДК 622.28.044:622.261.2

*д.т.н. Новиков А. О.,
к.т.н. Выговский Д. Д.,
к.т.н. Шестопалов И. Н.
(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)*

О ПРЕДЕЛЬНЫХ СРОКАХ ПРИМЕНЕНИЯ СПОСОБОВ ОХРАНЫ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

В статье приведён анализ работ, посвящённых изучению механизма формирования вокруг горных выработок зоны неупругих деформаций и прогнозированию проявлений горного давления. Описаны результаты комплексных наблюдений, направленных на установление особенностей деформирования породного массива, вмещающего выработки с рамной крепью. Была определена область рационального применения усиления рамной крепи анкерами.

Ключевые слова: крепь, замерная станция, репер, зона разрушенных пород, смещения реперов во времени.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Угольная промышленность — одна из ведущих отраслей народного хозяйства, важнейшая задача которой в условиях рыночной экономики состоит в повышении эффективности производства и снижении себестоимости продукции. Большим резервом повышения эффективности работы угольных шахт является своевременное применение способов охраны горных выработок, так как в себестоимости одной тонны угля до 45 % занимают затраты на поддержание.

Применяемая в настоящее время металлическая арочная крепь, которой закреплено около 90 % протяжённости поддерживаемых горных выработок, практически исчерпала свои возможности и не обеспечивает их устойчивое состояние на больших глубинах, так как её конструкция и параметры не соответствуют условиям нагружения. В настоящее время до 20 % поддерживаемых выработок ремонтируются с затратами на ремонт от 70 до 130 % от первоначальной стоимости крепления. Существенно улучшить состояние выработок можно путём применения способов охраны (нагнетание скрепляющих растворов, анкерование и др.), позволяющих влиять на напряжённо-деформированное состояние массива и использовать его несущую способность. Вме-

сте с тем опыт применения таких мероприятий (в частности рамно-анкерной крепи, взрыво-щелевой разгрузки (ВЩР) и др.) показывает, что технический эффект существенно зависит от своевременности их реализации [1]. Так, в работе [2] доказано, что лучший технический эффект достигается в случае установки усиливающей крепи сразу после выемки породы в забое. Усиление же крепи с отставанием от забоя или выполнение ВЩР существенно снижает техническую эффективность от применения указанных мероприятий. В этой связи установление особенностей и закономерностей формирования вокруг выработок зоны разрушенных пород во времени является весьма актуальной задачей.

В научно-технической литературе представлено большое количество работ, посвящённых изучению механизма формирования вокруг горных выработок зоны неупругих деформаций и прогнозированию проявлений горного давления. Это работы В. Т. Глушко, Л. М. Ерофеева, Ю. З. Заславского, А. Н. Зорина, К. В. Кошелева, Н. Н. Касьяна, И. Л. Черняка, А. Н. Шашенко и др. В этих работах подробно изложены результаты шахтных инструментальных наблюдений за механизмом формирования вокруг выработок зоны неупругих деформаций, однако при этом в

ней не выделяется зона разрушенных пород, отделившихся от массива. Вместе с тем размеры этой зоны и время её формирования и определяют предельные сроки выполнения дополнительных мероприятий по повышению устойчивости выработок.

Постановка задачи. Задачей данных исследований являлось установление закономерностей формирования зон разрушенных пород во времени вокруг выработок с рамной крепью для обоснования предельных сроков применения способов охраны горных выработок, в том числе сохранения природной прочности вмещающих пород.

Изложение материала и его результаты. В работе [2] с использованием положений кинетики хрупкого разрушения [3] и теории предельного равновесия [4] решена теоретическая задача по определению допустимого разрыва во времени между выемкой породы и установкой анкеров.

Вычисления производились по специально разработанной программе. Были приняты следующие граничные условия: параметр устойчивости $\gamma H/\sigma_{сж} = 0,2-0,7$ с шагом его изменения, равным 0,1; радиус выработки при проведении R — от 1,5 до 2,5 м с шагом его изменения 0,5 м; несущая способность крепи P — от 0,05 до 0,1 МПа; угол внутреннего трения ρ — от 25° до 35° ; параметр $l_a/2$ — от 0,75 до 1,45 м с шагом его изменения 0,1 м; коэффициент концентрации напряжений $k=1$.

С целью получения эмпирической зависимости, позволяющей прогнозировать время образования ЗРП заданного размера для различных горно-геологических условий, размеров выработки и параметров крепи, полученные результаты обрабатывались с помощью пакета прикладных программ «Statistika». Результаты обработки представлены на рисунке 1.

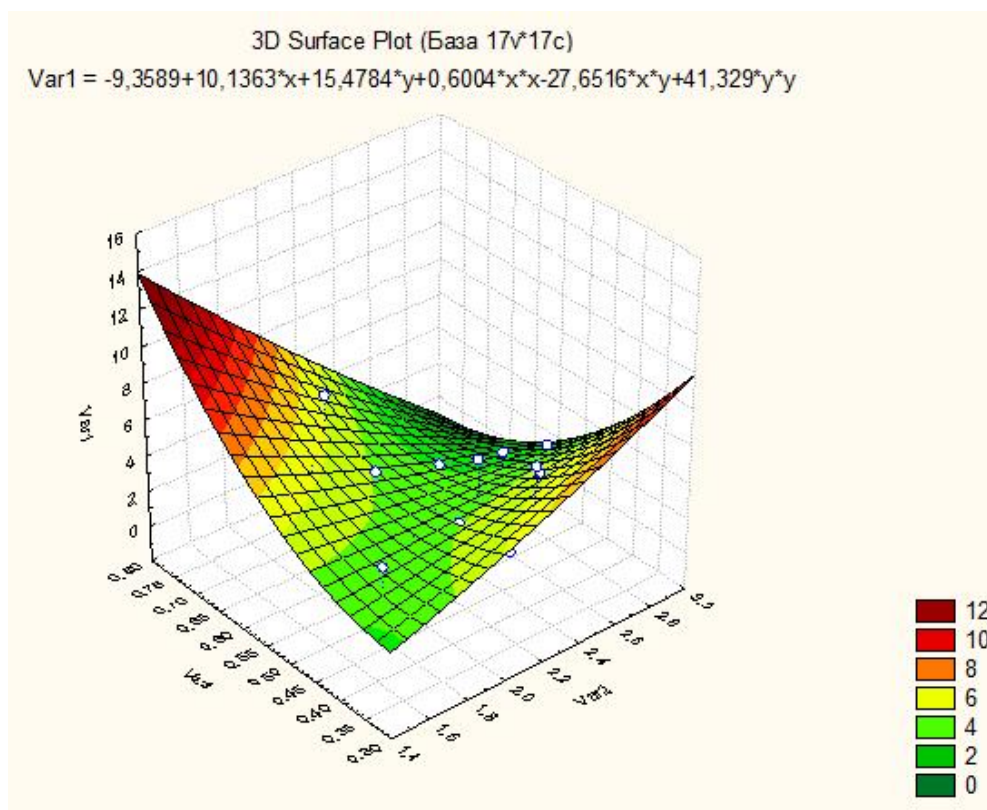


Рисунок 1 Результаты обработки данных, полученных с помощью пакета прикладных программ «Statistika»

В результате проведённых исследований были получены эмпирические зависимости, позволяющие прогнозировать время, за которое вокруг выработки разовьётся ЗРП заданных размеров (половина глубины анкеров-

вания [2]) для различных горно-геологических и горнотехнических условий заложения выработки. Для наиболее распространённой глубины анкерования 2,2 м (длина анкера $l_a=2,4$ м) эта формула имеет вид

$$t = -224,6 + 243,4 \cdot R_B + 371,5 \cdot \left(\frac{\gamma H - P}{\sigma_{сж}} \right) + 14,4 \cdot R_B^2 - 663,6 \cdot R_B \cdot \left(\frac{\gamma H - P}{\sigma_{сж}} \right) + 991,9 \cdot \left(\frac{\gamma H - P}{\sigma_{сж}} \right)^2, \text{ ч}; \quad (1)$$

$$R^2 = 0,92,$$

где R_B — приведённый радиус выработки, м; P — отпор рамной крепи, МПа; H — глубина работ, м; $\sigma_{сж}$ — предел прочности пород на сжатие, МПа.

Для определения размеров ЗРП воспользуемся исследованиями, проведёнными в МГТУ под руководством И. Л. Черняка [5], согласно которым предельные относительные деформации для глинистого сланца составляют 3×10^{-2} , а для песчаного сланца — 2×10^{-2} . Предельное значение относительных деформаций ($\varepsilon_{пр}$) определялось по формуле

$$\varepsilon_{пр} = \frac{U_1 - U_2}{b}, \quad (2)$$

где U_1 и U_2 — смещения соответствующих реперов, мм; b — расстояние между соседними реперами, мм.

Для оценки сходимости зависимости (1) с фактическими результатами шахтных инструментальных наблюдений, выполненных проф. И. Л. Черняком, проф. Н. Н. Касьяном и авторами статьи в 13 выработках шахт Донбасса [5, 6], воспользуемся данными, представленными в таблице 1.

Для анализа результатов наблюдений были построены графики изменения размеров зоны разрушенных пород во времени (рис. 2).

Таблица 1

Результаты оценки сходимости расчётных значений с фактическими результатами шахтных наблюдений

№ п/п	Название выработки	Критерий устойчивости пород, $\gamma H / \sigma_{сж}$, ед.	Приведённый радиус выработки R , м	Время образования ЗРП на половину глубины анкерования, сут		Отклонение, %
				расчётное	фактическое	
1	2	3	4	5	6	7
1	2-й зап. конв. штр. пл. h_8 шахты «Шахтёрская Глубокая»	0,525	2,6	2,8	3,5	-19
2	6-й вост. вент. штр. пл. l_4 шахты им. Челюскинцев	0,391	1,6	3,5	4,2	-17
3	Вост. кор. полевой вент. штр. шахты «Бутовская Глубокая»	0,662	2	5,1	6,5	-22
4	Вост. парн. полевой вент. штр. шахты «Щегловка Глубокая»	0,609	1,8	5,3	4,1	+22

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
5	Вост. полевой вент. штр. шахты «Мушкетовская-Заперевальная»	0,33	2,1	5,0	4,1	+18
6	Трансп. ходок зап. панельного укл. № 2 пл. m_2 шахты «Чекист»	0,443	1,9	3,8	3,1	+18
7	Вост. полевой штр. шахты «Бутовская-Глубокая»	0,354	2,3	5,3	6,6	-20
8	9-й зап. конв. штр. пл. m_3 шахты им. А. Ф. Засядько	0,742	2,5	2,7	2,1	+22
9	6-й юж. бортовой ходок бл. № 2 пл. l_7 шахты им. Стаханова	0,43	2,1	3,9	3,7	+6
10	4-й сев. бортовой. ходок пл. l_3 шахты им. Стаханова	0,475	2,1	3,7	3,1	+16
11	5-й отк. штр. пл. m_2 шахты № 10 «Чекист»	0,557	2	4,0	4,7	-16
12	5-й сев. конв. штр. пл. m_4^0 шахты «Добропольская»	0,417	2,5	4,6	4,8	-5
13	5-й сев. конв. штр. пл. m_4^0 шахты «Добропольская»	0,417	2,5	4,6	3,9	+17

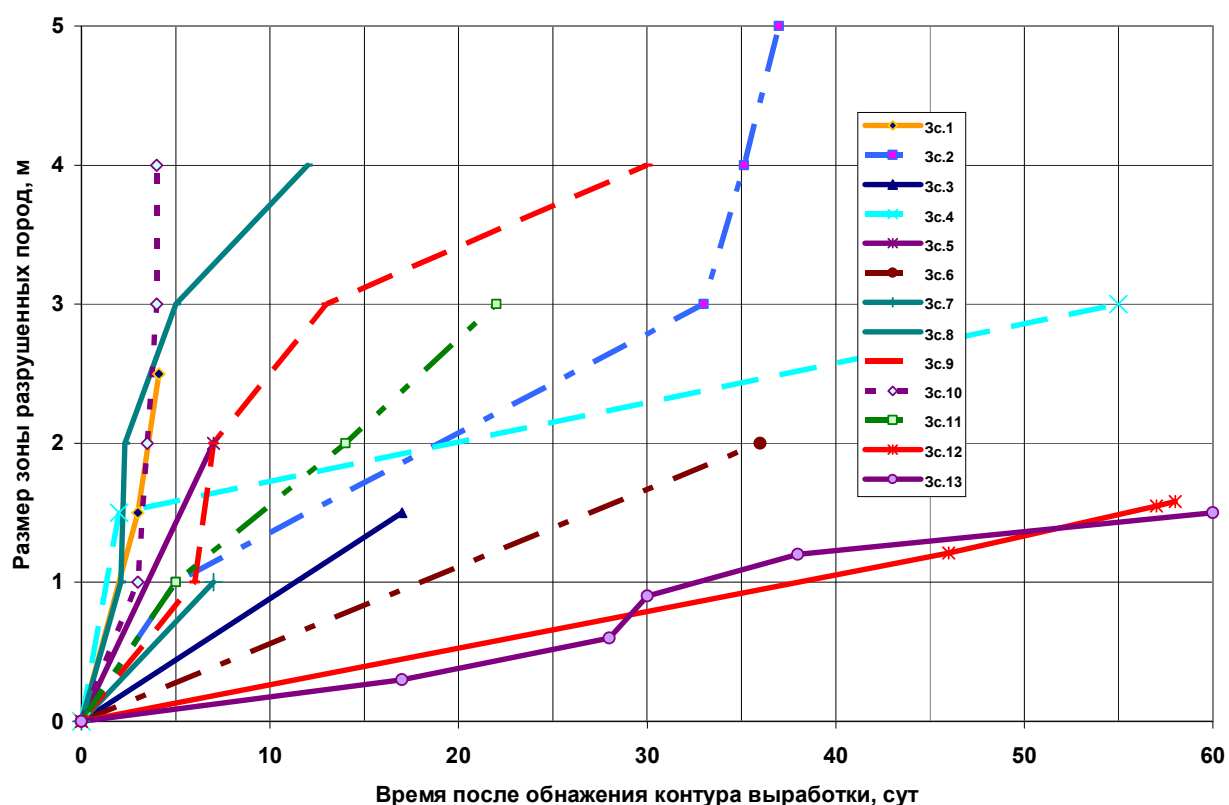


Рисунок 2 Графики изменения размера зоны разрушенных пород во времени на замерных станциях

Как видно из представленных в таблице 1 данных, полученная эмпирическая зависимость с хорошей сходимостью (отклонение от фактических значений, полученных в результате шахтных инструментальных наблюдений, не превышает 25 %)

позволяет достоверно определить время, за которое вокруг выработки разовьётся ЗРП заданных размеров.

С учётом выполненных расчётов была определена (табл. 2) область рационального применения усиления рамной крепи анкерами.

Таблица 2

Рекомендуемые параметры (смещения, разрыв во времени) применения дополнительных мероприятий по усилению рамной крепи

Характеристика условий заложения выработки, $\frac{\gamma H}{\sigma_{сж}}$, ед.	Приведённый радиус выработки, м	Рекомендуемая глубина анкерования, м	Смещения со стороны кровли до момента установки анкеров, мм	Максимальный разрыв во времени между выемкой породы и установкой анкеров, ч (сут)
0,2	2,22	2,4	59	206(8,6)
0,3			49	145(6,0)
0,4			42	105(4,4)
0,5			37	84(3,5)
0,6			34	73(3,0)

*Расчёты произведены с учётом следующих условий, одинаковых для всех случаев: шаг установки крепи в выработке — 0,8 м, номер спецпрофиля — СВП-27, сечение выработки в свету — 13,8 м²

Выводы и направление дальнейших исследований. Выполненные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. В результате проведённых исследований получена эмпирическая зависимость, позволяющая достоверно определить время образования вокруг выработки ЗРП заданных размеров.

2. В зависимости от горно-геологических условий зона разрушенных пород вокруг выработок начинает образовываться уже через 2–32 суток после проведения выработки, причём большая интенсивность её образования характерна для глубины заложения более 900 м.

3. На глубину 2 м зона разрушенных пород образуется через 3–36 суток, что фактически ограничивает предельные сроки применения дополнительных мероприятий по повышению устойчивости выработок, направленных на сохранение природной прочности вмещающих пород.

4. С увеличением значения критерия устойчивости с 0,33 до 0,74 средняя скорость образования зоны разрушенных пород возрастает в 3–4 раза, достигая 0,5–0,8 м/сут.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку методики прогноза размеров зоны разрушенных пород во времени.

Библиографический список

1. Кошелев, К. В. *Охрана и ремонт горных выработок [Текст]* / К. В. Кошелев, Ю. А. Петренко, А. О. Новиков. — М. : Недра, 1990. — 218 с.
2. Шестопалов, И. Н. *Обоснование параметров рамно-анкерной крепи для поддержания подготовительных выработок глубоких шахт [Текст]* : дис. ... канд. техн. наук : 05.15.02 / Шестопалов Иван Николаевич. — Донецк, 2014. — 202 с.
3. Качанов, А. М. *Основы механики разрушения [Текст]* / А. М. Качанов. — М. : Наука, 1974. — 308 с.

4. Баклашов, И. В. Механика горных пород [Текст] / И. В. Баклашов, Б. А. Картозия. — М. : Недра, 1975. — 271 с.

5. Черняк, И. Л. Геологические свойства горных пород [Текст] / И. Л. Черняк, А. С. Бурчаков, В. Н. Шехуржин. — М. : МИРГЭМ, 1966. — 98 с.

6. Касьян, Н. Н. Геомеханические основы управления зоной разрушенных пород вокруг выработок для обеспечения их устойчивости на больших глубинах [Текст] : дис. ... докт. тех. наук : 05.15.02 / Касьян Николай Николаевич. — Донецк, 2002. — 358 с.

© Новиков А. О.

© Выговский Д. Д.

© Шестопапов И. Н.

Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. УП ДонНТУ Клочко И. И., к.т.н., доц. каф. РМПИ ДонГТУ Леоновым А. А.

Статья поступила в редакцию 16.11.18.

**д.т.н. Новіков О. О., к.т.н. Виговський Д. Д., к.т.н. Шестопапов І. М. (ДонНТУ, м. Донецьк, ДНР)
ПРО ГРАНИЧНІ СТРОКИ ЗАСТОСУВАННЯ СПОСОБІВ ОХОРОНИ ГРІНИЧИХ
ВИРОБОК**

У статті наведено аналіз робіт, присвячених вивченню механізму формування навколо гірничих виробок зони непружних деформацій і прогнозуванню проявів гірського тиску. Описано результати комплексних спостережень, спрямованих на встановлення особливостей деформування породного масиву, що вміщує виробки з рамним кріпленням. Було визначено область раціонального застосування посилення рамного кріплення анкерами.

Ключові слова: кріплення, вимірні станція, репер, зона зруйнованих порід, зміщення реперів у часі.

Doctor of Tech. Sc. Novikov A. O., PhD Vygovskiy D. D., PhD Shestopalov I. N. (DonNTU, Donetsk, DPR)

DEADLINES FOR APPLICATION THE METHODS OF UNDERGROUND WORKING PROTECTION

The article gives analysis of works on studying the mechanism of formation around the underground working zone of inelastic deformations and the prediction of mine pressure manifestation. There have been described the results of complex observations aimed at determining the deformation features of rock massif accommodating the working with frame support. The area of rational application had been determined for the frame support reinforcement by anchors.

Key words: support, gauge station, bench mark, zone of destroyed rocks, bench mark time shift.