

УДК 622.016.3.112.3

Ю.А. Петренко, А.О. Новиков, С.В. Подкопаев, С.Н. Александров

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ФОРМИРОВАНИЯ НАГРУЗКИ НА КРЕПЬ ВЫРАБОТОК ГЛУБОКИХ ШАХТ

Донецкий национальный технический университет

На основании обработки результатов шахтных инструментальных наблюдений за смещениями пород установлены новые особенности формирования нагрузки на крепь выработок глубоких шахт.

Существующие в настоящее время представления о механизме формирования нагрузки на крепь глубоких шахт заключаются в следующем.

В начальный период после проведения выработки на ее контуре и в прилегающем массиве возникает концентрация напряжений, величина которых превышает предел мгновенной прочности пород. Вследствие этого вмещающие породы разрушаются и вокруг выработки формируется зона разрушенных пород. В пределах этой зоны породы увеличиваются в объеме и смещаются в сторону свободного пространства, т.е. в выработку, чем и нагружают крепь. По мере роста зоны разрушенных пород в глубь массива напряжения на ее внешней границе уменьшаются. Когда они становятся меньше предела мгновенной прочности пород, но больше предела длительной прочности, рост зоны разрушенных пород прекращается, и во вмещающем массиве формируется вторая зона, деформации в которой протекают без разрыва сплошности. Нагрузка от формирования второй зоны, при передаче ее через первую зону к контуру выработки, происходит с увеличением за счет эффекта фокусирования, как установлено в работе [1].

Вместе с тем, как показал анализ состояния горных выработок глубоких шахт Донбасса, при ремонте выработок, связанном с заменой крепи или ее элементов, в 92% случаев зафиксированы выпуски породы. При этом в 55% случаев вес выпускаемой породы превышает несущую способность крепи.

Учитывая, что в существующих нормативных документах [2] нагрузка на крепь определяется только как результат разрушения пород и смещения их в полость выработки, задачей данных исследований являлось уточнение механизма формирования нагрузки на крепь после образования зоны разрушенных пород с целью учета веса отделившихся от массива пород при выборе параметров поддержания выработок.

Для решения поставленной задачи использовался метод шахтных инструментальных наблюдений за смещениями контурных и глубинных реперов на специально оборудованных замерных станциях.

Как отмечено в работе [3], при инструментальном изучении механических процессов в породных массивах целесообразно исследовать деформации, а не напряженное состояние. В основе такого заключения лежат следующие факты. Во-первых, в результате экспериментальных исследований в массиве измеряются деформации, а напряжения определяются по замерным деформациям расчетным путем. Во-вторых, деформации более информативны для оценки проявлений механических процессов, так как в механизме деформирования горных пород определяющая роль принадлежит разрушению. Например, величина деформаций обусловлена главным образом увеличением объема пород при разрушении.

Оборудование замерных станций и производство измерений смещения реперов осуществлялось по методике ВНИМИ [4]. Основные положения этой методики заключаются в следующем.

Смещения пород за пределами контура выработки (в глубине массива) определяются с помощью глубинных реперов, которые устанавливаются в скважинах, пробуренных на глубину 2–10 м от контура выработки (рис. 1).

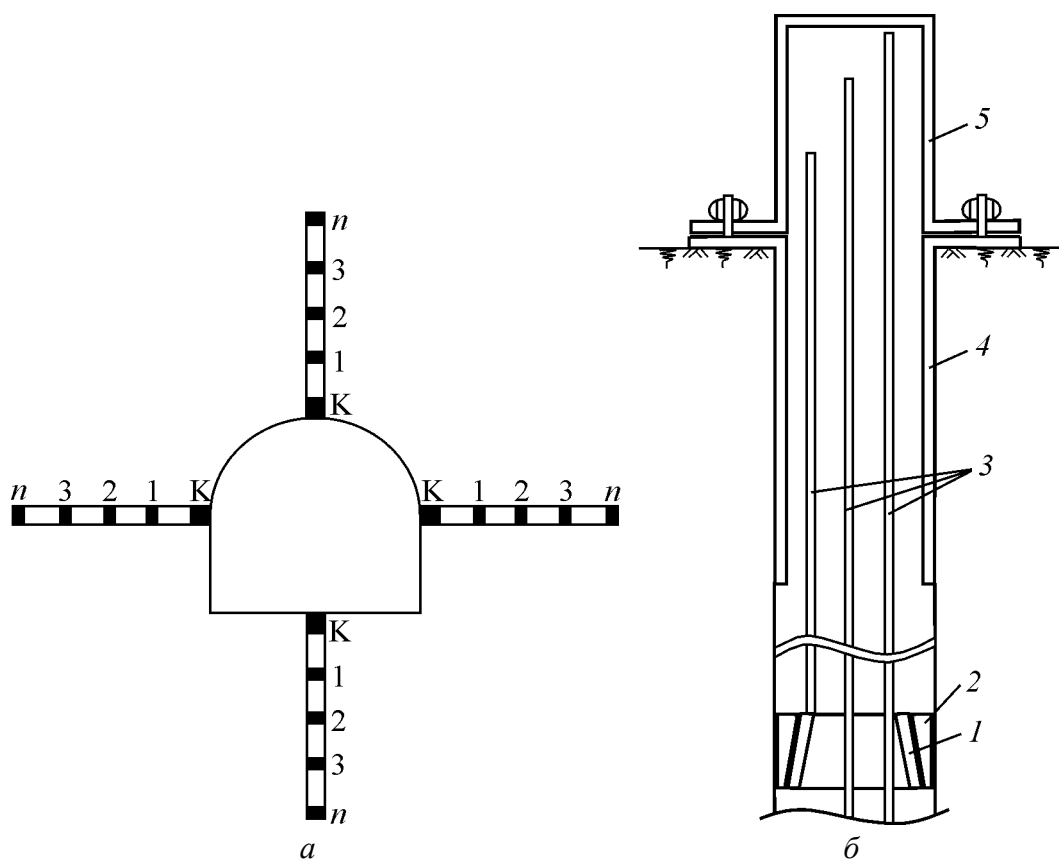


Рис. 1. Схема установки глубинных реперов (а) и оформление устья скважины (б): 1 – глубинный репер; 2 – клиновья втулка; 3 – тяги глубинных реперов; 4 – обсадная труба; 5 – кондуктор

Глубинный репер представляет собой отрезок металлической трубы 1 (рис. 1,б) цилиндрической или конической формы, который расклинивается в шпуре или скважине с помощью деревянной втулки 2 или других приспособлений. Установка глубинного репера на необходимом расстоянии от контура выработки осуществляется с помощью установочной трубы. Относительные смещения между соседними реперами определяются как разность расстояний между концами металлических тяг 3, соединенных с соответствующими реперами. Абсолютные смещения глубинных реперов определяются относительно конечного глубинного репера, считающегося неподвижным (n) (рис. 1,а). Глубинные реперы устанавливаются с интервалом 0,5–1 м. Частота измерений зависит от интенсивности проявления горного давления и составляет в течение первых 2 месяцев один раз в 3–7 суток с увеличением интервала между замерами до одного раза в месяц. Результаты измерений заносятся в журнал. По полученным данным строятся графики смещений пород в окрестности выработок путем соединения точек, соответствующих величинам смещений реперов, прямыми линиями. Так же определяется скорость смещения реперов во времени по формуле:

$$v_{n(t_i)} = \frac{U_n(t_i) - U_n(t_{i-1})}{t_i - t_{i-1}}, \text{ мм/сут}, \quad (2.7)$$

где $U_n(t_i)$, $U_n(t_{i-1})$ – величина смещения репера n соответственно на момент времени t_i и t_{i-1} .

Анализ графиков смещения глубинных реперов на момент производства замеров позволяет отслеживать рост зоны неупругих деформаций вокруг выработки во времени. Границу ЗНД определяют как расстояние от контура выработки до участка, на котором наблюдается резкий перегиб графика смещений точек массива, фиксированных глубинными реперами.

Анализ графиков скоростей смещения позволяет определить характер деформационных процессов, происходящих в массиве пород, окружающих выработку. Плавное изменение скорости смещения пород при движении в глубь массива свидетельствует о протекании деформационных процессов без разрыва сплошности породного массива. Резкое, пикообразное изменение скорости смещения пород говорит о том, что причиной деформационных процессов является разрушение породного массива. По изменению скорости смещения пород на различном расстоянии от контура выработки можно не только судить о характере геомеханических процессов, но и определять зону активных смещений в различные моменты на протяжении периода инструментальных наблюдений.

Вместе с тем информация, получаемая из анализа графиков смещений и скоростей смещений глубинных реперов, не позволяет сделать вывод об отделении части зоны разрушенных пород от остального массива и формирования за счет этого дополнительной нагрузки на крепь.

В связи с этим в работе предлагается для исследования особенностей формирования нагрузки на крепь определять ускорение смещений реперов по формуле:

$$a_{n(t_i)} = \frac{V_n(t_i) - V_n(t_{i-1})}{t_i - t_{i-1}}, \text{ мм/сут}^2, \quad (2.8)$$

где $V_n(t_i)$, $V_n(t_{i-1})$ – скорости смещений n-го репера соответственно на момент времени t_i и t_{i-1} .

Анализируя графики ускорений, можно будет установить наличие и размеры области ЗРП, отделившейся от остального массива.

Рассмотрим более подробно методику такого анализа (рис. 1). Допустим, на момент третьего замера скорость движения первого репера была больше, чем на момент второго замера. Скорость движения второго репера на момент третьего замера была меньше, чем на момент второго. Тогда ускорение смещения первого репера в интервале времени между вторым и третьим замером будет положительное, а ускорение смещения второго репера в том же интервале времени – отрицательное. Это свидетельствует о том, что в промежутке времени между вторым и третьим замерами на участке скважины между первым и вторым репером произошло отделение части ЗРП от остального массива, т.е. произошло дополнительное нагружение крепи за счет веса отделившихся пород.

Для анализа были использованы результаты наблюдений на 12 глубинных замерных станциях.

Станция № 1 была оборудована при сооружении второго западного конвейерного штрека пласта h_8 шахты «Шахтерская-Глубокая». Выработка сечением в свету $13,5 \text{ м}^2$ сооружалась буровзрывным способом на глубине 1050 м в песчаных сланцах прочностью на сжатие 50 МПа. Крепление в выработке – рамы КМП-А5 с шагом установки 0,5 м.

Глубинная замерная станция была оборудована в кровле выработки. В скважине было установлено 3 репера. Расстояние от контура выработки до первого репера составляет 1500 мм, а между первым и вторым репером – 1000 мм. Наблюдения проводились в течение 65 суток. Результаты замеров представлены в табл.1.

Таблица 1.

Результаты замеров по станции №1

Реперы	Время замеров, сут											
	4	5	7	8	10	14	15	20	28	44	55	65
Контур	80	115	175	190	210	215	250	290	295	305	310	315
1	40	50	75	90	100	100	120	125	135	140	140	140
2	0	0	0	0	5	10	10	10	10	10	10	10

Результаты обработки данных замеров по приведенной методике представлены в табл. 2.

Таблица 2.

Результаты обработки данных

Ре- перы	Скорость смещений, мм/сут												
	Ускорение смещений, мм/сут ²												
	Время замеров, сут												
	0	4	5	7	8	10	14	15	20	28	44	55	65
Кон- тур	<u>0</u> 0	<u>20</u> +5,0	<u>35</u> +15,0	<u>30</u> -2,5	<u>15</u> -15,0	<u>10</u> -2,5	<u>1,25</u> -2,19	<u>35</u> +33,75	<u>8,0</u> -5,4	<u>0,625</u> -0,92	<u>0,625</u> 0	<u>0,445</u> -0,02	<u>0,5</u> +0,045
1	<u>0</u> 0	<u>10</u> +2,25	<u>10</u> 0	<u>12,5</u> +1,25	<u>15,0</u> +2,5	<u>5,0</u> -5,0	<u>0</u> -1,25	<u>20,0</u> +20,0	<u>1,0</u> -3,8	<u>1,25</u> +0,003	<u>0,31</u> -0,006	<u>0</u> -0,003	<u>0</u> 0
2	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>2,5</u> +1,25	<u>1,25</u> -0,3	<u>0</u> -1,25	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0

Анализируя полученные данные, можно отметить, что в период наблюдений с восьмых до четырнадцатых суток происходит замедление движения отделившейся части массива. Это объясняется формированием активного отпора со стороны крепи и включением ее в работу. На пятнадцатые сутки наблюдений происходит резкое увеличение скорости движения массива, и на участке между первым и вторым репером ускорение меняет знак с «плюса» на «минус». Это свидетельствует о том, что скорость движения в пределах этого участка увеличивается по отношению к остальной части наблюдаемого массива, движение которого замедляется. То есть происходит отделение части приконтурного массива от вмещающих выработку пород и формирование дополнительной нагрузки на крепь. Дальнейшие наблюдения на замерной станции показывают, что на 44 сутки наблюдений смещения пород в глубине массива прекращаются, при этом внешняя граница зоны разрушенных пород располагается между первым и вторым реперами.

Для оценки размера отделившейся части приконтурного массива были построены графики ускорения смещений реперов на различные моменты наблюдений (рис. 2).

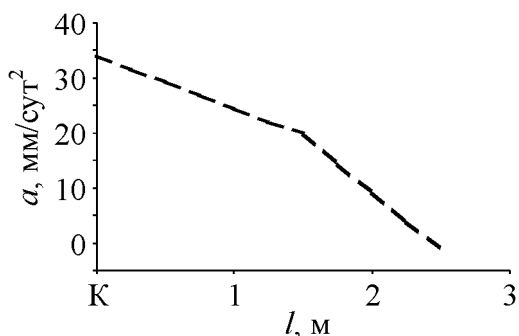


Рис. 2. Графики ускорений смещений реперов

Замерная станция № 2 была установлена в 6-м восточном вентиляционном штреке пл. l_4 шахты им. Челюскинцев. Выработка сооружалась комбайновым способом в песчаных сланцах с прочностью на одноосное сжатие 46 МПа.

Глубина заложения выработки 720 м, сечение в свету 7 м². Крепление штрека осуществлялось трехзвенной арочной податливой крепью

АП-3. Глубинная замерная станция была оборудована в кровле выработки. В скважине было установлено 8 реперов с шагом 1000 мм. Наблюдения проводились в течение 180 суток.

Результаты наблюдений представлены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3.

Результаты измерения смещений глубинных реперов на 2-й замерной станции

Реперы	Время замеров, сут							
	6	18	42	60	90	120	150	180
Контур	80	160	240	280	316	348	372	388
1	48	100	140	170	192	232	256	272
2	32	92	136	160	180	192	216	224
3	20	72	100	112	124	136	146	156
4	12	32	64	72	80	92	100	100
5	12	28	30	32	32	36	40	48
6	10	20	26	28	28	32	36	40
7	8	16	20	22	24	28	30	32
8	4	9	9	12	12	14	16	20

Таблица 4.

Результаты расчетов скоростей и ускорений смещений глубинных реперов на 2-й замерной станции

Реперы	Скорость смещений, мм/сут							
	Ускорение смещений, мм/сут ²							
	Время замеров, сут							
	6	18	42	60	90	120	150	180
Контурный	<u>13,3</u> +4,44	<u>6,67</u> -0,55	<u>3,33</u> -0,14	<u>2,0</u> -0,07	<u>1,2</u> -0,027	<u>1,07</u> -0,004	<u>0,8</u> -0,009	<u>0,53</u> -0,009
1	<u>8,0</u> +2,67	<u>4,33</u> -0,31	<u>1,67</u> -0,11	<u>1,67</u> 0	<u>0,73</u> -0,03	<u>1,33</u> +0,02	<u>0,8</u> -0,018	<u>0,53</u> -0,009
2	<u>5,3</u> 1,78	<u>5,0</u> -0,025	<u>1,83</u> -0,13	<u>1,33</u> -0,028	<u>0,67</u> -0,022	<u>0,4</u> -0,009	<u>0,8</u> +0,013	<u>0,27</u> -0,018
3	<u>3,3</u> +1,11	<u>4,33</u> +0,09	<u>1,17</u> -0,13	<u>0,67</u> -0,028	<u>0,4</u> -0,009	<u>0,27</u> -0,004	<u>0,33</u> +0,002	<u>0,33</u> 0
4	<u>2,0</u> +0,67	<u>1,67</u> -0,028	<u>1,33</u> -0,014	<u>0,44</u> -0,05	<u>0,27</u> -0,006	<u>0,4</u> +0,004	<u>0,27</u> -0,004	<u>0</u> -0,009
5	<u>2,0</u> +0,67	<u>1,33</u> -0,055	<u>0,08</u> -0,052	<u>0,11</u> -0,002	<u>0</u> -0,0037	<u>0,13</u> +0,004	<u>0,13</u> 0	<u>0,27</u> +0,005
6	<u>1,67</u> +0,56	<u>0,83</u> -0,07	<u>0,25</u> -0,024	<u>0,11</u> -0,008	<u>0</u> -0,0037	<u>0,13</u> +0,004	<u>0,13</u> 0	<u>0,13</u> 0
7	<u>1,3</u> +0,44	<u>0,67</u> -0,05	<u>0,17</u> -0,02	<u>0,11</u> -0,003	<u>0,07</u> -0,001	<u>0,13</u> +0,002	<u>0,07</u> -0,002	<u>0,07</u> 0
8	<u>0,67</u> +0,22	<u>0,42</u> -0,02	<u>0</u> -0,018	<u>0,17</u> +0,009	<u>0</u> -0,006	<u>0,07</u> +0,002	<u>0,07</u> 0	<u>0,13</u> +0,002

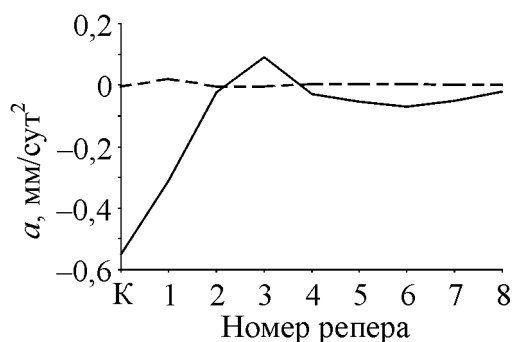


Рис. 3. Графики ускорений смещений реперов

Как видим из приведенных данных, на 18-е сутки наблюдений ускорение смещений пород на участке между третьим и четвертым реперами изменяет знак с «плюса» на «минус». Смещения контура выработки на этот момент составляют 160 мм, т.е. произошло отделение части приконтурного массива глубиной 3,8 м (рис. 3) от вмещающих выработку пород. При этом разница между смещениями третьего и четвертого реперов

составила 40 мм, в то время как между остальными глубинными реперами она не превышала 10 мм. На 120-е сутки наблюдений между первым и вторым репером ускорение смещений глубинных реперов снова изменяет знак с «плюса» на «минус». Это свидетельствует о том, что в пределах отделившейся части массива продолжается разрушение. На 150-е сутки наблюдений снова наблюдается ускорение смещения отделившейся части массива. Очевидно, это связано с проскальзыванием элементов крепи в замках податливости, т.к. смещения контура на этот момент составляют 372 мм.

Аналогичные результаты были получены при обработке наблюдений на других замерных станциях.

Таким образом, если рассмотреть механизм формирования нагрузки на крепь во времени, его условно можно разделить на 2 периода.

В первом периоде продолжительностью 1,0–1,5 года нагрузка на крепь в основном формируется за счет смещений контура выработки в процессе образования вокруг нее зоны разрушенных пород. То есть нагрузка на крепь формируется в режиме «заданной деформации». После окончания образования вокруг выработки зоны разрушенных пород, в результате реализации геомеханических процессов внутри нее, нагрузку на крепь оказывает вес части пород в пределах зоны разрушенных пород, отделившихся от приконтурного массива. То есть нагружение крепи происходит в режиме «заданной нагрузки».

Таким образом, выбирать параметры поддержания выработки необходимо с учетом степени реализации геомеханических процессов во вмещающей выработку массиве во времени.

В этой связи актуальным становится вопрос о выборе способов охраны, направленных на управление состоянием вмещающей выработку массива, и своевременности их применения. Решать его необходимо с учетом срока службы выработки, степени реализации геомеханических процессов во вмещающем массиве на момент окончания срока службы, продолжительности эффективного действия способа охраны и затрат на поддержание.

Принятые решения должны обеспечивать соответствие срока окупаемости затрат на поддержание сроку службы выработки.

Все это в полной мере относится и к выбору параметров ремонтных работ в выработках.

В настоящее время ремонт в выработках производят, как правило, при отсутствии требуемых по Правилам безопасности зазоров между транспортными средствами и крепью, а также при нарушениях эксплуатационного режима, оговоренных в Правилах технической эксплуатации. Степень деформации поперечного сечения выработки к моменту начала ремонта изменяется от 12 до 85%. Как показали исследования, выполненные в ДонНТУ, своевременное выполнение ремонта выработок существенно влияет на геомеханическое состояние вмещающего массива и определяет последующую устойчивость выработок.

Таким образом, установленные особенности формирования нагрузки на крепь позволяют сформулировать новую концепцию поддержания горных выработок, которая заключается в следующем.

Параметры крепи выработки необходимо определять дифференцированно по ее длине с учетом срока службы отдельных участков выработки и стадии реализации геомеханических процессов во вмещающем массиве.

Применение способов охраны должно носить предупредительный характер, но при этом необходимо учитывать соответствие срока окупаемости затрат на их реализацию сроку службы выработки, продолжительность технического эффекта данного способа, а также на какой стадии развития геомеханических процессов во вмещающем массиве его наиболее эффективно применять.

Перекрепление в выработке необходимо производить не при отсутствии зазоров между транспортными средствами и крепью, а с учетом послеремонтного развития геомеханических процессов во вмещающем выработку массиве во времени. То есть степень деформации контура выработки к моменту перекрепления, а, следовательно, и параметры ЗРП вокруг выработки должны обеспечивать максимальную несущую способность системы «крепь–вмещающий массив» после ремонта.

Внедрение данной концепции позволит существенно сократить материальные и трудовые затраты на поддержание горных выработок и повысить их устойчивость.

1. *Гребенкин С.С.* Современные проблемы проведения и поддержания горных выработок глубоких шахт [Текст] / С.С. Гребенкин, Н.Н. Касьян, Ю.А. Петренко и др. – Донецк: ДУМВГО, 2003. – 256 с.
2. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР [Текст] / изд. 4-е перераб. – Л.: ВНИМИ, 1986. – 222 с.
3. *Заславский Ю.З.* Расчеты параметров крепи выработок глубоких шахт [Текст] / Ю.З. Заславский, А.Н. Зорин, И.Л. – К.: Техніка. – 1972. – 153 с.
4. Методические указания по исследованию горного давления на угольных и сланцевых шахтах [Текст]. – Л.: ВНИМИ. – 1973. – 102 с.

Ю.А. Петренко, О.О. Новіков, С.В. Подкопаєв, С.М. Александров

**ПРО ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ
НА КРІПЛЕННЯ ВИРОБОК ГЛИБОКИХ ШАХТ**

На підставі обробки результатів шахтних інструментальних спостережень за зміщеннями порід встановлено нові особливості формування навантаження на кріплення виробок глибоких шахт.

J.A. Petrenko, A.O. Novikov, S.V. Podkopayev, S.N. Alexandrov

**AT FEATURES OF FORMING OF LOADING ON LINING MINING
OF DEEP MINES**

On the basis of treatment of results of the mine instrumental looking after displacements of rocks the new features of forming of loading on lining of mining of deep mines are set.