

DOI: 10.26730/1999-4125-2021-1-46-55

УДК 622.001.05:622-01.284.74:622.012.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ В ПАРАМЕТРАХ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ВЫСОКИХ СКОРОСТЯХ ПОДВИГАНИЯ ЛАВ

INVESTIGATION OF CHANGES IN THE PARAMETERS OF GEOMECHANICAL PROCESSES AT HIGH SPEEDS OF FACE ADVANCE

Калинин Степан Илларионович,¹
доктор техн. наук, e-mail: niutk@yandex.ru

Stepan I. Kalinin,¹

Dr. Sc. in Engineering

Роут Геннадий Николаевич,¹

кандидат техн. наук, доцент, e-mail: routgn@kuzstu.ru

Gennady N. Rout,¹

C. Sc.. in Engineering, Associate Professor

Игнатов Юрий Михайлович,¹

кандидат техн. наук, доцент, e-mail: mnoc@mail.ru

Yuri M. Ignatov,¹

C.Sc. in Engineering, Associate Professor

Разумов Евгений Анатольевич,²

директор СФ АО ВНИМИ. e-mail: vnimi@inbox.ru

Evgeny A. Razumov,²

Director of the SF of VNIMI JSC

¹Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, Россия 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

¹T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyaya st., Kemerovo, 650000, Russian Federation

² Юридическое лицо СФ ОАО «ВНИМИ» г. Прокопьевск, Кемеровская область 653004, пр-т Гагарина, д. 24.

²Legal entity of SF JSC "VNIMI", Prokopyevsk, Kemerovo region, 653004, Gagarin Ave., 24.

Аннотация:

Приведены результаты инструментальных наблюдений и последующих вычислений параметров геомеханических процессов при высоких скоростях продвижения лав на примере горных работ в условиях шахт «Талдинская-Западная-1» и шахты им. В.Д. Ялевского АО «СУЭК-Кузбасс».

Сравнение расчетных параметров геомеханических процессов по нормативным документам и по данным наблюдений показал, что коэффициент концентрации напряжений в зоне максимального опорного давления при скорости продвижения лавы 15 м/сут составляет 5,1 и превышает коэффициент концентрации напряжений при скорости продвижения лавы 5 м/сут в 1,88 раза.

Получены выводы, что значительное увеличение скорости продвижения очистного забоя приводит к большей величине напряжений в зоне опорного давления, ширина зоны опорного давления сужается (уменьшается), максимум опорного давления приближается к линии очистного забоя.

Наблюдения за технологическим процессом в исследуемых лавах показывают, что возникают «резкие» осадки пород, которые приводят к тому, что предохранительные клапаны гидростоек механизированных комплексов не успевают срабатывать, в результате возникают аварийные ситуации: деформация крепи механизированного комплекса и деформация крепи сопряжений лав с горными выработками.

Ключевые слова: параметры геомеханических процессов; высокие скорости продвижения лав; опорное давление; «резкие» осадки пород.

Abstract:

The results of instrumental observations and subsequent calculations of the parameters of geomechanical processes at high speeds of longwall face advance are presented on the example of mining operations in the Taldinskaya-Zapadnaya-1 and V. D. Yalovsky mines of SUEK-Kuzbass JSC.

Comparison of calculated parameters of geomechanical processes according to normative documents and observational data showed that the stress concentration coefficient in the zone of maximum abutment pressure at the rate of face advance of 15 m/day is 5.1 and exceeds the stress concentration coefficient at the rate of face advance of 5 m/day by 1.88 times.

The findings show that a significant increase in the speed of face advance leads to a larger value of stresses in the zone of abutment pressure, the width of the abutment pressure zone decreases, the maximum abutment pressure approaches the line of the longwall face.

Monitoring of the technological process in the studied longwall faces shows that there are cases of 'abrupt' rock subsidence, as a result, the safety valves of powered support hydraulic props fail to operate leading to emergency situations including deformation of the powered support and longwall face-end supports.

Key words: *parameters of geomechanical processes; high rates of face advance; abutment pressure; 'abrupt' rock subsidence.*

Совершенствование подземного способа отработки угольных пластов к настоящему времени выполняется за счет создания новых технологий отработки угольных пластов [1], применения высокопроизводительного оборудования для очистных работ, внедрения длиннозабойных систем разработки и др. [2].

Горно-геологическая и горнотехническая информация, получаемая непосредственно при исследованиях и изучении новых технологий и оборудования на шахтах, разрезах и других предприятиях, является базовой составляющей информационного обеспечения по отчетам, необходимым при решении задач проектирования и при составлении рациональных способов повышения производительности труда.

Решение технологических задач производится специалистами на основе утвержденных нормативных документов, личных знаний и опыта, интуиции. Это позволяет рассмотреть несколько вариантов, отвечающих горно-геологическим условиям, но внедрение высокопроизводительного оборудования меняет горнотехнические условия и такие изменения необходимо исследовать для выработки рекомендаций новых условий.

Таким образом, проблема формирования комплекса технических условий на проектирование по имеющейся геологической информации о месторождении полностью возлагается на специалиста, и расширение его знаний является необходимым.

Успешная работа очистного забоя зависит от умения предотвратить образование вывалов и ступенчатого опускания кровли очистных забоев, которое определяется соответствием выбранных машин и механизмов геологическим условиям, паспортом управления кровлей, организацией работ в лаве и др.

Применение высокопроизводительного оборудования для очистных работ приводит к более высокой скорости подвигания лавы и, как следствие, изменению параметров

геомеханических процессов, которые ранее были получены и заложены в нормативные документы [4,5].

Авторы статьи экспериментами получили новые данные о параметрах геомеханических процессов на примере горных работ в условиях лавы 66-06 шахты «Талдинская – Западная-1».

Лава 66-06 отрабатывает пласт 66-65 мощностью 4,41-5,55м, угол падения 3-10°. Непосредственная кровля представлена мелкозернистым алевролитом, неустойчивым, слоистым, легкообрушающимся. Коэффициент крепости изменяется от 1 до 7,5, мощность непосредственной кровли – от 2,7м до 23м. Непосредственная кровля относится к неустойчивой, по классификации класс – 3. Основная кровля пласта представлена переслаивающейся толщей песчаников с алевролитами разной зернистости, коэффициент крепости изменяется от 2,1 до 5,3, мощность – от 7м до 38м. По тяжести проявления горного давления основная кровля в основном относится к кровлям средней тяжести, на отдельных участках она может проявляться как тяжелая.

К осложняющим факторам относятся: большая мощность пласта, наличие неустойчивых пород в кровле, наличие «ложной» почвы, наличие зон ПГД от целиков отработанных вышележащих пластов 67-68.

Часть столба лавы 66-06 находится вблизи замковой части Караканской брахисинклинали, длина участка лавы в зоне Караканской брахисинклинали составляет около 175м (100 секций крепи). Дополнительными осложняющими факторами является склонность пласта к самовозгоранию.

С учетом геологических условий и научно-исследовательской оценки выстраиваются блочные модели массива горных пород и цифровые прогнозные планы геомеханических свойств горного массива, сделаны выводы, что для пласта 66-65 характерно непостоянство литотипов и

Таблица 1. Показатели отработки пласта в столбе лавы 66-06
 Table 1. Indicators of seam extraction in the pillar of face 66-06

Период, (дата)	Добыча (тыс. т)	Подви- гание лавы (м)	Кол-во осадок кровли	Продолжитель ность обрушения (час)	Скорость подвига- ния лавы (м/сут)	Средний шаг обрушения (м)
18-25.08.15г.	80	43	6	от 3,2ч до 10ч	6,15	7
25-01.09.15г.	76,3	41	6	от 3,1ч до 5,4ч	5,85	6,8
01-08.09.15г.	131,3	70,5	6	от 1ч. до 12,6ч	10	11,75
08-15.09.15г.	95,0	51	7	от 3,2ч до 21ч	6,9	7,28
15-22.09.15г.	117,3	63	7	от 1ч до 6,8ч	9,0	9,0
22-30.09.15г.	136,8	15,5	7	от 1,1ч до 18,5ч	9,0	10,47
30-06.10.15г.	136,8	73,5	7	от 1,1ч до 3,3ч	12,2	10,5
06-13.10.15г.	162	87	6	от 1,2ч до 6,3ч	12,42	14,5
13-22.10.15г.	182,4	98	6	от 1,2ч до 7,8ч	12,3	16,5

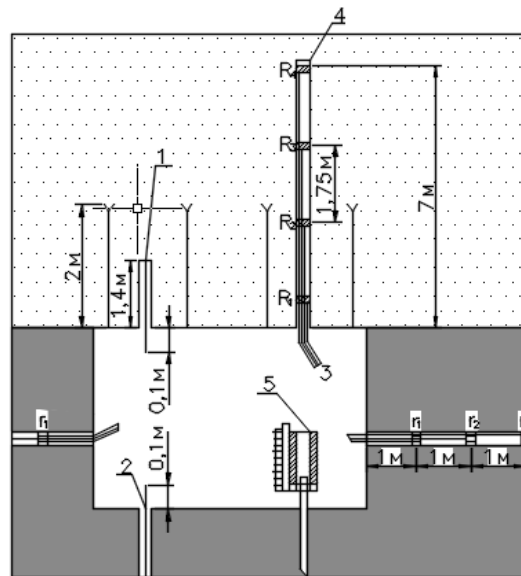


Рис. 1. Схема оборудования наблюдательной станции длительного действия:
 1-2 – контурные реперы; 3 – струны глубинных реперов; 4 – шпур для глубинных реперов; 5 – мерный стакан; R – R-глубинные в кровле; r – r-глубинные реперы в боках.

Fig. 1. Layout of equipment for a long-term observation station:
 1-2 – contour telltales; 3 – strings of telltales; 4 – borehole for telltales; 5 – dimensional glass; R – roof telltales; r – sidewall telltales.

мощности пород непосредственной и основной кровли пласта, поэтому прогнозируется изменчивость устойчивости кровли.

Для отработки пласта укомплектовали высокопроизводительное оборудование, подходящее по геологическим условиям, в составе модернизированной крепи DBT, очистного комбайна фирмы «Джой» 7LS6C, забойного конвейера PF-6/1142 фирмы DBT с дробилкой

предварительного дробления угля SC-200, перегружателя фирмы DBT PF-6/1342, дробилки SK 11/14 фирмы DBT; насосной установки «HYDROWATT». В конвейерном штреке установлен ленточный конвейер 5ЛЛТ-1600-2П с загрузочным устройством типа «Матильда».

Технической службой шахты разработаны паспорт выемочного участка и технико-экономическое обоснование, в которые включены

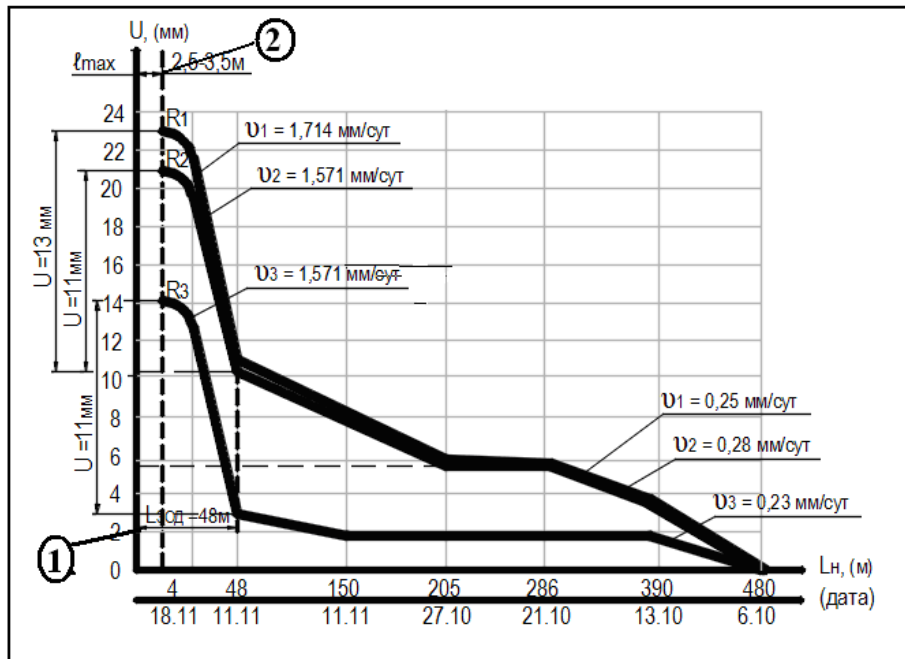


Рис. 2. Графики смещения реперов наблюдательной станции в столбе лавы 66-06:
 1 – основное смещение реперов впереди лавы на расстоянии 48 м;
 2 – максимум опорного давления вблизи очистного забоя (2,5-3,5 м).

Fig. 2. Graphs of displacement of the observation station telltales in the pillar of face 66-06:
 1 – main displacement of the telltales ahead of the face at a distance of 48 m;
 2 – maximum abutment pressure near the working face (2.5-3.5 m).

Таблица 2. Сравнение параметров зоны опорного давления по данным наблюдений с теоретическими
 Table 2. Comparison of the parameters of the abutment pressure zone according to observational data with the theoretical ones

Скорость продвижения лавы, (м/сут)	Глубина горных работ, (м)	ЛЗОД, (м)	ℓ_{\max} , (м)
6-8	165-180	45; 48; 50	3,5; 4,5
9-10	165-180	45; 42; 40	3,5; 4,0
11-12	165-180	20; 20; 22	3,0; 3,5
13-15	165-185	20; 20; 22	2,5; 3,0; 2,7
Теоретические расчеты параметров ЗОД			
Расчет по Инструкции [4]	185	65-70	6-7
Расчет по Рекомендациям [5]	185	58-60	6,9-7,2
	185	Труднообрушаемая кровля 68-70	8,1-8,4

следующие параметры: среднесуточная добыча угля проектируется до 20-24 тыс. тонн, выемка угля комбайном производится на скоростях 20-25 м/мин, скорость продвижения лавы составляет 12-15 м/сут. Отрабатываемый выемочный столб имеет параметры: длина по простиранию – около 3000 м; длина по падению пласта – 300 м; вынимаемая мощность пласта – 4,53 м. Выемка угля в лаве производится по односторонней уступной схеме. Пласт по мощности разделяется на две части: верхняя часть мощностью 3 м, нижняя –

мощностью 1, 5 м.

При отработке лавы 66-06 авторами статьи производились наблюдения по оценке геомеханической безопасности с 18.08.2015г. по 03.11.2015г. (см. табл. 1). Производилась оценка влияния скорости продвижения лавы на проявление горного давления в зоне опорного давления и в зоне обрушения пород.

На рис. 1 приведена схема наблюдательной станции, оборудованной глубинными и контурными реперами. По результатам

наблюдений за смещением пород кровли определялись параметры зоны опорного давления впереди лавы и влияние скорости подвигания лавы на параметры зоны опорного давления. Параметры зоны опорного давления определялись с использованием наблюдательных станций, оборудованных контурными и глубинными реперами, а также путем измерения смещения пород кровли в конвейерном и вентиляционном штреке с помощью стойки СУИ-П с индикаторной головкой часового типа и с помощью стойки СУИ-П, оборудованной самописцем смещения пород СПН-72 с увеличенной скоростью протяжки диаграммной ленты.

Оценка влияния скорости подвигания лавы на проявление горного давления в очистном забое оценивалась по реакциям гидростоек крепи механизированного комплекса и просадкам гидростоек. Реакции стоек определялись путем измерения давления в поршневых полостях гидростоек с помощью самопишущих манометров, устанавливаемых на секциях крепи и с помощью показывающих манометров, установленных на стойках крепи. Просадка гидростоек за цикл оценивалась путем измерения раздвижности гидростоек в начале выемочного цикла и в конце выемочного цикла.

Установлено, что с увеличением скорости подвигания лавы увеличивается шаг обрушения пород активной кровли. При подвигании лавы за неделю на 43-98 м наблюдается от 6 до 7 осадок кровли. Продолжительность осадок кровли изменяется в зависимости от мощности обрушающихся слоев пород кровли от 1 часа до 21 часа. С увеличением скорости подвигания лавы средний шаг обрушения пород кровли увеличивается.

На рис. 2 представлены графики смещения глубинных реперов впереди очистного забоя при разном расстоянии до лавы от наблюдательной станции. Скорость подвигания лавы изменялась от 6 м/сут до 15 м/сут. В шпуре устанавливалось три репера: R1 – на глубине 2,3 м, R2 – на глубине 1,5 м, R3 – на глубине 0,7 м.

По результатам наблюдений установлено, что основные смещения реперов происходят впереди лавы на расстоянии 45-48 м, с удалением от лавы величина смещения и скорость смещения снижаются и затухают. Максимальная скорость смещения реперов на участке длиной 48 м впереди лавы составила: R1 – 1,714 мм/сут, R2 – 1,571 мм/сут, R3 – 1,571 мм/сут.

По смещениям реперов установлено, что при скорости подвигания лавы от 6-15 м/сут средняя ширина зоны опорного давления (ЗОД) составила $L_{ЗОД} = 48$ м. Удаление максимума опорного давления от линии очистного забоя составило $l_{max} = 2,5-3,5$ м.

Максимальные смещения реперов в зоне опорного давления составили 11-13 мм, скорость

смещения 1,571 – 1,714 мм/сут. С удалением от лавы скорость смещения реперов изменялась от 0 до 0,25 мм/сут, величина смещения реперов не превышала 2-6 мм.

Глубина горных работ при измерении составляла 180-185 м, вынимаемая мощность пласта 4,4-4,5 м, скорость подвигания лавы 9,0-15 м/сут, средняя – около 12 м/сут. В табл. 2 приводятся результаты наблюдений и расчетные параметры геомеханических процессов по существующим инструкциям, которые основаны на опыте работ в лавах с более низкой скоростью подвигания.

В табл. 2 видно, что при скорости подвигания очистного забоя 6-8 м/сут ширина ЗОД составила 45-50 м, а максимум опорного давления располагался на расстоянии от лавы 3,5-4,5 м.

Из табл. 2 видно, что при скорости подвигания лавы 12-15 м/сут ширина зоны опорного давления снизилась в 2,25-2,5 раза по сравнению с подвиганием лавы со скоростью 6-8 м/сут, а максимум опорного давления приблизился к кромке забоя с 3,5-4,5 м до 2,5-2,7 м.

Таким образом, исследования подтверждают факт уменьшения ширины зоны опорного давления при увеличении скорости подвигания лавы. При снижении ширины зоны опорного давления происходит смещение максимума опорного давления ближе к кромке забоя. Происходит увеличение концентрации напряжений в зоне максимума опорного давления.

Теоретические расчеты параметров зон опорного давления были выполнены по «Инструкции по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих угольные пласты, склонные к горным ударам» [4] и по рекомендациям, изложенным в работе [5]. По результатам теоретических расчетов ширина зоны опорного давления составляет 65-70 м при расчете по «Инструкции ...» и 58-70 м при расчете по рекомендациям. Удаление максимума опорного давления от линии очистного забоя составляет соответственно 6-7 м и 6,9-8,4 м.

Видно, что рассчитанные теоретическим методом параметры зоны опорного давления значительно отличаются от параметров, установленных экспериментально. Параметры зоны опорного давления, рассчитанные по «Инструкции ...» и по рекомендациям, по значениям являются близкими. Однако необходимо иметь в виду, что теоретические методы расчета параметров ЗОД не учитывают скорость подвигания лавы.

Скорость перемещения комбайна по лаве при выемке угля изменялась в пределах 6-24 м/мин, при этом скорость обнажения кровли в лаве изменялась от 288 м²/час до 1152 м²/час. Скорость обнажения кровли в лаве является одним из основных технологических факторов, оказывающих влияние на геомеханические процессы в очистном забое

Таблица 3. Показатели отработки пласта в столбе лавы № 50-03
 Table 3. Indices of seam development in the pillar of longwall face 50-03

от – до (дата)	Срок наблюдения (сутки)	Подвигание лавы (м)	Количество во осадок	Скорость подвигания лавы (м/сут)	Шаг обрушения (м)
21-25.04.17	4	47,0	4	11,8	11,1
25.-28.04.17	3	32	3	10,7	10,6
28.-05.05.17	7	106,5	6	15,2	12,7
05-11.05.17	6	99,5	7	16,6	14,2
11-19.05.17	8	145,5	7	18,2	16,9
19.-26.05.17	7	119,5	7	17,1	14,5
26.-02.06.17	7	103,5	6	14,8	12,3
02.-08.06.17	6	116,5	7	19,4	17,8
08.-15.06.17	7	102,5	7	14,6	12,7
15.-22.06.17	7	108,5	7	15,5	14,3
22.-29.06.17	7	113,5	6	16,2	14,9
$\Sigma \Sigma$	69 дней	1094,5м		Средн. 15,46	Средн. 15,2

Таблица 4. Смещение пород кровли в конвейерном штреке 50-03 впереди лавы
 Table 4. Displacement of roof strata in conveyor drift 50-03 ahead of longwall

Дата	Положение лавы по конв. штреку	Расстояние от забоя лавы (м)	Смещение (мм)	Скорость подвигания лавы (м/сут)
19.05.17	ПК 51+6м	7	0,1	18,2
		13	0,07	
		66	0,0	
26.05.17	ПК 64	7	0,25	17,1
		13	0,07	
		66	0,03	
02.06.17	ПК 73+8м	7	0,19	14,8
		13	0,06	
		66	0,01	
08.06.17	ПК 85+9м	7	0,26	19,4
		13	0,08	
		66	0,02	
22.06.17	ПК 108	7	0,21	15,5
		13	0,10	
		66	0,0	
29.06.17	ПК 118+4м	7	0,26	16,2
		13	0,12	
		66	0,01	

[6,7].

Расчетами подтверждается уменьшение ширины ЗОД при увеличении скорости подвигания лавы и увеличение концентрации напряжений в зоне максимума опорного давления. Коэффициент концентрации напряжений в зоне максимального опорного давления при скорости подвигания лавы 15м/сут составляет 5,1 и превышает коэффициент концентрации напряжений при скорости подвигания лавы 5 м/сут в 1,88 раза;

Максимум опорного давления с увеличением скорости подвигания лавы смещается из глубины

массива к кромке забоя. Удаление максимума опорного давления от кромки забоя при скорости подвигания лавы 5м/сут составляет 2,6 м, при скорости подвигания лавы 15м/сут – 1,13м.

Исследования поведения кровли в зависимости от скорости подвигания лавы проведены на примере горных работ в условиях шахты им. В.Д. Ялевского. Отработку пласта 50 в условиях шахты им. В.Д. Ялевского производят длинными лавами (400 метров), длинными выемочными столбами (2300 метров), с нагрузкой на очистной забой 30-50 тыс. т/сут. Средняя

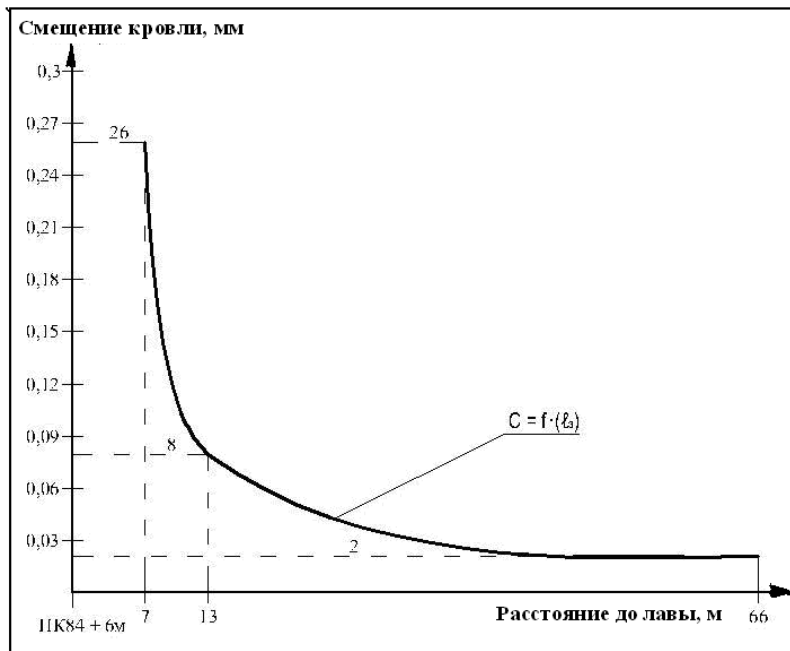


Рис. 3. Результаты смещения кровли 6 июня в конвейерном штреке 50-03
Fig. 3. Results of roof displacement on June 6 in conveyor drift 50-03

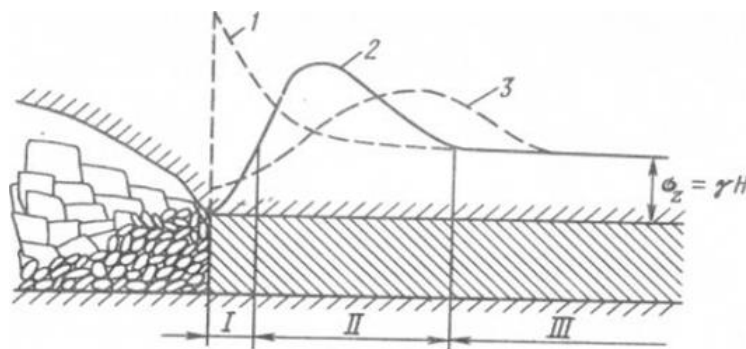


Рис. 4 Схема перераспределения напряжений опорного давления на угольный пласт впереди очистного забоя, когда напряжение ЗОД гораздо превышает напряженность, и возможно пересыпание призабойного пространства,

I – зона формирования динамических проявлений опорного давления, находится в состоянии трехосного сжатия, забой деформируются и разрушаются в сторону выработанного пространства;

II – зона затухания динамических проявлений опорного давления;

III – зона статических напряжений опорного давления с напряжением γH ;

Fig. 4 Scheme of redistribution of abutment pressure stresses on the coal seam ahead of the working face, when the stress in the abutment zone exceeds the intensity, and overpouring in the face space is possible,

I – zone of formation of dynamic manifestations of the abutment pressure, is in a state of triaxial compression, the faces are deformed and collapse towards the worked-out area;

II – zone of damping of dynamic manifestations of the abutment pressure;

III – zone of static stresses of the abutment pressure with stress γH ;

мощность пласта в пределах выемочного столба составляет 3,85 м.

Непосредственная кровля представлена алевролитом крупнозернистым, реже – переслаиванием алевролитов мелкозернистых с алевролитами крупнозернистыми, песчаников с мелкозернистыми алевролитами.

Непосредственная кровля оценивается как среднеустойчивая, ее мощность составляет 2,42-30 м.

Основная кровля представлена песчаниками среднезернистыми. Мощность основной кровли изменяется от 2,3 м до 26,9 м и оценивается как труднообрушаемая, а на отдельных участках как

среднеобрушаемая.

С учетом изученности геологических условий и научно-исследовательской оценки вмещающих пород пласта 50 приняты технологические параметры и оборудование для отработки пласта в столбе лавы № 50-03, которые описаны в работе [3].

Параметры ЗОД определялись по измерению смещения кровли впереди лавы. Результаты определения параметров ЗОД по измерению смещения пород кровли стойкой СУИ-II с индикаторной головкой часового типа. Результаты измерения смещения пород кровли в конвейерном штреке 50-03 приведены в табл. 4.

При измерении смещения отработка лавы производилась со скоростью от 14,8 м/сут до 19,4 м/сут. Измерения смещения производились впереди лавы на расстоянии 7 м, 13 м и 66 м. Результаты измерений показывают, что с удалением от линии очистного забоя смещения кровли снижаются, на удалении 60-66 м от лавы смещения проявляются слабо либо не фиксируются. На удалении от лавы 7 м наблюдаются максимальные смещения. На удалении от лавы 13 м смещения снижаются, а на расстоянии от лавы 66 м проявляются слабо.

Анализ данных позволяет сделать следующие выводы: ширина зоны опорного давления при отработке пласта 50 составляет 60-70 м; максимум опорного давления располагается впереди лавы на расстоянии 7-8 м.

По приведенным смещениям пород кровли видно, что смещения на расстоянии от забоя 7-8 м имеют максимальные значения, с удалением от забоя смещения снижаются, а на расстоянии от забоя 60-70 м не фиксируются.

По проявлению смещения пород можно считать, что максимальные напряжения в массиве концентрируются впереди забоя на расстоянии 7-8 м. На удалении от забоя 13-14 м смещения снижаются в 2-3,5 раза, а на расстоянии 66-70 м от лавы практически не фиксируются.

На основании данных табл. 4 предварительно можно считать, что ширина зоны опорного давления в лаве 50-03 составляет 66-70 м, максимум опорного давления располагается на расстоянии от линии очистного забоя – 7-8 м.

Результаты длительных наблюдений смещения пород кровли в конвейерном штреке 50-03 впереди лавы представлены графиком на рис. 3.

Измерения смещений проводились на разных участках выемочного столба 50-03, измерения производились на удалении от очистного забоя на 7-8 м, 13-14 м, 66-70 м.

По графику видно, что характер смещения кровли в зависимости от удаления от очистного забоя на разных участках выемочного столба сохраняется, характер изменения смещения кровли является близким к экспоненциальной зависимости.

График подтверждает, что максимальные смещения пород кровли наблюдаются впереди очистного забоя на расстоянии 7-8 м от линии забоя. На расстоянии от забоя 13-14 м смещения пород снижаются, на расстоянии 66-70 м смещения не наблюдаются, затухают. Величина смещений пород кровли на разных участках выемочного столба изменяется, однако разница в величине смещений незначительная и позволяет определять параметры зоны опорного давления.

Наблюдения за технологическим процессом в исследуемых лавах показывают, что возникающие «резкие» осадки пород [8,9], приводят к тому, что предохранительные клапаны гидростоек механизированных комплексов не успевают срабатывать, в результате возникают аварийные ситуации: деформация крепи механизированного комплекса и деформация крепи сопряжений лав с горными выработками [10].

С точки зрения раскрытия природы механизма горных ударов и разработки мер борьбы с ними особенно интересной представляется зона, в которой уголь находится в предельно напряженном состоянии.

Многочисленными инструментальными наблюдениями установлено, что максимальные нагрузки в зоне опорного давления располагаются обычно на расстоянии, равном 2-5 мощностям пласта впереди очистного забоя. Это расстояние существенно зависит как от глубины разработки, мощности и механических свойств угольного пласта, так и от веса массива пород, зависшего позади очистного забоя.

Горные породы в нетронутом массиве находятся в состоянии напряженного равновесия. Угольный пласт на глубине H испытывает напряжение $\sigma = \gamma H$, где γ – средняя плотность горных пород, т/м³;

H – глубина залегания пласта, м. В процессе выемки угля впереди забоя происходит перераспределение напряжений (рис. 4.). При этом различают три зоны, примыкающие к забою.

В третьей зоне уголь находится в состоянии двусогнутого сжатия. Максимум опорного давления находится на расстоянии от трех до пяти-шести мощностей пласта от кромки пласта.

Эпюра ЗОД № 1 после вывала угля в сторону завала и разгрузки максимума опорного давления формируется в передней части выемочного столба до нагрузки, равной γH , в позицию № 3.

Параметры эпюр 1,2,3 ЗОД изменчатые в зависимости от устойчивости кровли пласта. [12]

Выводы:

Значительное увеличение скорости подвигания очистного забоя приводит к большей величине напряжений в зоне опорного давления, ширина зоны опорного давления сужается (уменьшается), максимум опорного давления приближается к линии очистного забоя. С

увеличением концентрации напряжений в зоне опорного давления возникает произвольный процесс прорастания микротрещин, процесс трещинообразования становится неуправляемым, лавинообразным. В процессе лавинообразного трещинообразования и значительного роста потенциальной энергии и давления возникает активный процесс разрушения пород в зоне опорного давления и обрушение кусков разрушенной породы в сторону очистного забоя.

Установлено, что куски разрушенной породы за счет высокого давления, полученного в процессе разрушения пород при трещинообразовании, приобретают значительную кинетическую энергию и обрушаются в сторону очистного забоя с высокой скоростью. Возможны пересыпания призабойного пространства. По замерам скорость падения кусков достигает до 470 м/с. Так возникают «резкие» осадки пород, которые приводят к аварийным последствиям. Например, предохранительные клапаны гидростоек механизированных комплексов не успевают срабатывать при резких осадках, в результате возникают деформации крепи механизированного комплекса и крепи сопряжений лав с горными выработками.

Conclusions:

A significant increase in the speed of production face advance leads to a larger value of stresses in the zone of abutment pressure, the width of the abutment pressure zone decreases, the maximum abutment pressure approaches the line of the production face. With an increase in the stress concentration in the abutment pressure zone, an arbitrary process of micro-crack germination occurs, the process of crack formation becomes uncontrollable, avalanche-like.

In the process of avalanche-like cracking and a significant increase in potential energy and pressure, an active process of rock destruction occurs in the abutment pressure zone and the pieces of destroyed rock are falling towards the face. It is established that the pieces of destroyed rock due to the high pressure obtained in the process of rock destruction during crack formation acquire significant kinetic energy and collapse in the direction of the production face at a high speed. According to measurements, the speed of falling pieces reaches up to 470 m/s.

Thus, there are cases of "abrupt" rock subsidence, which lead to emergency consequences. For example, the safety valves of powered support hydraulic props fail to operate in case of sudden rock subsidence resulting in the deformation of the powered support and longwall face-end supports.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калинин, С.И. Геомеханическое обеспечение эффективной выемки мощных пологих пластов с труднообрушаемой кровлей механизированными комплексами / С. И Калинин, В. М. Колмагоров. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2002. – 113 с.
2. Коровкин Ю.А. Савченко П.Ф. Теория и практика длинноплавных систем / Ю.А. Коровкин, П.Ф. Савченко. – М. : Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2012. – 808 с.
3. Калинин С.И. Обоснование суточной добычи угля из лавы длиной 400 метров в условиях шахты им. В.Д. Ялевского // С.И. Калинин, Ю.М. Игнатов, Г.Н. Роут, А.М. Черданцев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2018. – № 5. – С. 27-34.
4. Инструкция по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих угольные пласты, склонные к горным ударам, (РД 05-328-99).
5. Указания по разработке паспортов крепления очистных забоев с индивидуальной крепью. Прокопьевск, КузНИУИ, 1981. – 68с.
6. С.Г. Баранов. Влияние скорости подвигания очистного забоя, глубины работ и мощности пород основной кровли на шаг ее осадки. «Горная геомеханика и маркшейдерское дело», ВНИМИ, СПб, 2009. – С.217-223.
- 7 А.С. Ягунов. Динамика деформаций в подрабатываемом горном массиве. Кемерово, Кузбассвуиздат, 2010. – 239 с.
8. Логинов В.Н., Калинин С.И., Александров Б.А. Особенности взаимодействия механизированных крепей с кровлей при резких осадках. Механизация горных работ. Кемерово, 1997. – С.30-37.
9. Логинов В.Н., Василенко Н.К., Калинин С.И. Механизм возникновения и проявления резких осадок кровли при отработке пластов с труднообрушаемой кровлей.// Теория и практика отработки угольных пластов. Сб. научн. тр.//КузНИУИ, Прокопьевск. 1997. – С.76-87.

10. Логинов В.Н., Агудалин Б.П., Демин Н.Д., Калинин С.И. Прогноз резких осадков кровли. /Совершенствование подземной отработки угольных пластов Кузбасса: Сб. научн. тр., КузНИУИ. Прокопьевск, 1998. – С.40-75.
11. Испытать отечественные предохранительные клапаны. Разработать техническое задание на предохранительное устройство. /Научно-исследовательский отчет КузНИУИ по работе: «Изготовить, провести стендовые и шахтные испытания предохранительного устройства гидростоек от резких осадков кровли», Руководитель – докт. техн. наук С.И. Калинин/. Прокопьевск, КузНИУИ, 1999. – 91с.
12. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов, Изд. Недра, Москва, 1980г., 360 стр.

REFERENCES

1. Kalinin, S.I. geomechanical support of effective extraction of powerful flat layers with a hard-to-break roof by mechanized complexes / S.I. Kalinin, V.M. Kolmagorov. – Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 2002. - 113 p.
2. Korovkin Yu.A. Savchenko P.F. Theory and practice of long-head systems / Yu.A. Korovkin, P.F. Savchenko. – М.: publishing house «Mining» LLC «Cimmerian center», 2012. – 808 p.
3. Kalinin S.I. Justification of daily coal mining from lava 400 meters long in the conditions of the V.D. Yalovsky mine // S.I. Kalinin, Yu.M. Ignatov, G.N. Routh, A.M. Cherdantsev // Bulletin of the Kuzbass state technical University. – 2018. – no. 5. – P. 27-34.
4. Instructions for safe conduct of mining operations in mines that develop coal seams prone to rock impacts, (RD 05-328-99).
5. Instructions for the development of passports for fixing treatment faces with individual fasteners. Prokopyevsk, Kuzniui, 1981. – 68s.
6. S.G. Baranov. Influence of the rate of movement of the treatment face, the depth of work and the thickness of the main roof rocks on the step of its precipitation. «Mining geomechanics and surveying», VNIMI, St. Petersburg, 2009. – P. 217-223.
7. A.S. Yagunov. Dynamics of deformations in a part-time mountain range. Kemerovo, Kuzbassvuzizdat, 2010. – 239s.
8. Loginov V.N., Kalinin S.I., Aleksandrov B. A. Features of interaction of mechanized supports with a roof at sharp precipitation. Mechanization of mining operations. Kemerovo, 1997. - P. 30-37.
9. Loginov V.N., Vasilenko N.K., Kalinin S.I. the Mechanism of occurrence and manifestation of sharp roof precipitation when working out layers with a hard-to-break roof// Theory and practice of mining coal seams. Sb. Nauchn. Tr. // KuzNIUI, Prokopyevsk. 1997. – P. 76-87.
10. Loginov V.N., Agudalin B.P., Demin N.D., Kalinin S.I. Pro-gnosis of sharp roof sediments. / Improvement of underground mining of Kuzbass coal seams: Sat. nauchn. Tr., Kuzniui. Prokopyevsk, 1998. – P. 40-75.
11. Test domestic safety valves. Develop a technical specification for a safety device. / Research report of Kuzniui on the work: «to Make, carry out bench and mine tests of the safety device of hydro-sprouts from sharp roof precipitation», Head-Doct. Techn. S.I. Kalinin/. Prokopyevsk, Kuzniui, 1999. – 91s.
12. Borisov A.A. Mechanics of rocks and massifs, Ed. Nedra, Moscow, 1980, 360 p. UDC: 622.02:539.2/8:622.83

Поступило в редакцию 13.02.2021
Received 13 February 2021