DOI: 10.26730/1999-4125-2017-6-127-132

УДК 622.831.232:004.942

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ И ОТРАБОТКИ ВЕСЬМА СБЛИЖЕННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

SUBSTANTIATION OF TECHNOLOGY PARAMETERS FOR DEVELOPING AND MINING HIGHLY CONTIGUOUS COAL SEAMS

Исаченко Алексей Александрович[1]
заместитель главного инженера, e-mail: Aleksey.Isachenko@evraz.com
Isachenko Aleksej A.[1], Deputy Chief Engineer
Петрова Ольга Александровна[2]
преподаватель, e-mail: ol_petrova@mail.ru
Petrova Olga A.[2], Lecturer
Петрова Татьяна Викторовна[3]
доктор экономич. наук, профессор, e-mail: ptrvt@mail.ru
Petrova Tatiana V.[3], Doctor of Economic Sciences, professor

[1]ОАО «ОУК «Южкузбассуголь» филиал «Шахта «Ерунаковская VIII». 654027 Кемеровская обл., г. Новокузнецк, пр. Курако, д. 33.
[1]OAO OUK Juzhkuzbassugol, Branch Shahta Erunakovskaja VIII. 654027 Kemerovo region, Novokuznetsk, pr. Kurako, 33.
[2]Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
[2]T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyaya St., Kemerovo, 650000, Russian Federation
[3]Сибирский государственный индустриальный университет. 654007 Кемеровская обл., г. Новокузнецк, ул. Кирова, д. 42
[3]Siberian State Industrial University. 654007 Kemerovo region, Novokuznetsk, ul. Kirova, 42

Аннотация. *Представлены результаты исследования влияния ширины угольных целиков и мощности пород между весьма сближенными пластами на смещения контура пластовых выработок при многоштрековой подготовке и отработке выемочных участков угольных шахт. По результатам шахтных исследований выявлены качественные зависимости смещений контура подготовительных выработок при изменении расстояния от очистного забоя до наблюдательных станций и мощности пород между весьма сближенными пластами Ерунаковского месторождения Кузбасса. Установлено, что интенсивное пучение пород почвы подготовительных выработок происходит примерно на расстоянии от очистного забоя, равном глубине разработки. Зависимость величин пучения пород почвы подготовительной выработки верхнего отрабатываемого пласта резко уменьшается при мощности пород между пластами, превышающей в трёхкратную вынимаемую мощность пласта. Установлено, что в зонах дизъюнктивных нарушений вследствие снижения прочности и интенсификации деформаций пород отношение фактической площади поперечного сечения выработки к проектной площади уменьшается почти в два раза по сравнению с соответствующими отношениями площадей поперечных сечений вне зоны геологических нарушений. Критерием устойчивости ленточного угольного целика является отношение ширины зоны упругого деформирования угля в целике к его проектной ширине более 0,4. Площадь зоны разрушения угля и пород в окрестности подготовительной выработки уменьшается по нелинейной обратно пропорциональной зависимости при увеличении мощности пород между весьма сближенными пластами*

Abstract. *The article presents the results of a study of the impact of the width of the coal pillar and thickness of rock strata between highly contiguous coal seams on the displacement of contour of in-seam workings at multi-roadway development and mining of extraction panels in coal mines. The mine studies revealed qualitative dependencies of the displacements of the contour of development workings when there were changes in the distance from the stoping face to the observation stations and in the thickness of rocks between highly contiguous seams of Erunakovskoe deposit in Kuzbass. It is established that intensive swelling of floor rocks of development workings occurs at the distance from the stope equal to the depth of the development. The dependence of the values of swelling of floor rocks of development workings of the upper seam decreases sharply with the thickness*

of rocks between seams exceeding three times the extracted seam thickness. It is established that in the zones of disjunctive faults as a result of the strength reduction and intensification of the deformation of rocks the ratio of the actual cross-sectional area of the working to the design area decreases almost twice in comparison with the corresponding ratio of cross-sectional areas beyond the zone of geological faults. The criterion of rib coal pillar stability is the ratio of the width of the zone of elastic coal deformation in a pillar to its design width in excess of 0.4. The area of the zone of destruction of coal and rocks in the vicinity of the development working decreases in nonlinear inversely proportional relation with increasing thickness of rocks between highly contiguous coal seams.

Ключевые слова: *угольные целики, сближенные пласты, подготовительные выработки, деформации пород, пучение пород почвы.*

Keywords: *coal pillars, contiguous seams, development workings, rock deformation, floor rock swelling.*

Введение

Одним из способов обеспечения устойчивости подготовительных выработок является охрана их угольными целиками. Необходимость применения этого способа весьма возросла при внедрении на угольных шахтах России многоштрековой подготовки и отработки выемочных участков. В этой связи, весьма актуальными являются исследования, направленные на выявления количественных зависимостей смещений, формы и размеров зон разрушения угля и пород в окрестности штреков при изменении ширины целиков и мощности пород между весьма сближенными пластами [1-3].

Таким образом, доказана необходимость создания алгоритма расчёта ширины угольных целиков, обеспечивающих устойчивость подготовительных выработок, так как существующие методы не адаптированы к современным условиям многоштрековой подготовки и высокопроизводительной отработки выемочных участков, в том числе на весьма сближенных пластах.

Методы исследования

Для выявления зависимостей смещений контура подготовительных выработок в зоне влияния зависающих над очистным выработанным пространством пород кровли применен комплексный метод, включающий:

- шахтные наблюдения деформаций поперечного сечения выработок при различных расстояниях от очистного забоя до наблюдательных станций [4];

- настройку входных параметров математической модели деформирования углепородного массива по результатам шахтных измерений [5];

- численное моделирование процессов деформирования и разрушения угля и пород на весьма сближенных пластах с учётом взаимного влияния очистных и подготовительных выработок при разной ширине угольных целиков и мощности пород между пластами;

- анализ результатов исследований с обоснованием зависимостей величин смещений контура подготовительных выработок и размеров зон разрушения угля и пород от ширины угольных целиков и мощности пород между весьма сближенными пластами.

Результаты исследования

Натурные измерения конвергенции кровли и почвы подготовительных выработок проведены на экспериментальном участке общей длиной более 2 км [6]. Экспериментальный участок выбран в пределах Ерунаковского месторождения Кузбасса при отработке пологого пласта 2 мощностью 2,06-2,41 м и надработке весьма сближенного пласта 1 мощностью 1,70-2,23 м. Мощность пород между пластами составляет в районе фланговых наклонных стволов 0,5 м и увеличивается до 15,0 м в сторону центральных стволов. Глубина разработки 450-500 м (рис. 1,а).

Вмещающие породы сближенных пластов 1 и 2 представлены мелкозернистым алевролитом. Предел прочности пород непосредственной кровли, почвы и между пластами при сжатии составляет 30-40 МПа, а основной кровли верхнего пласта - 20-90 МПа.

Наблюдательные реперные станции РГ-3 оборудовались глубинными и контурными реперами непосредственно на расстоянии 6-10 м от подготовительного забоя. Измерения проводились еженедельно, а в зоне влияния очистного забоя – ежесуточно. При больших величинах пучения пород почвы и отжима угля с боков выработок измерения конвергенции кровли-почвы и боков выработки проводились с помощью рулетки.

По результатам всех шахтных измерений в двух вентиляционных штреках общей протяжённостью более 2000 м изучено влияние на пучение пород почвы следующих факторов: мощности и прочности пород между весьма сближенными пластами; геологических нарушений; количества штреков, оконтуривающих выемочный столб; глубины разработки в пределах 400-600 м; расстояния от линии очистного забоя до наблюдательной станции; ширины угольного целика между очистным выработанным пространством и охраняемым вентиляционным штреком.

Результаты измерения конвергенции кровли и почвы выработок представлены на рис. 1,а.

Из графиков рис. 1,б следует, что расстояние от наблюдательной станции до очистного забоя, а также мощность пород между сближенными пластами существенно влияют на конвергенцию кровли и почвы штрека.

Установлено, что в зонах дизъюнктивных нарушений вследствие снижения прочности и интенсификации деформаций пород отношение фактической площади поперечного сечения к проектной площади уменьшается в 1,7-2,0 раза по сравнению с соответствующими отношениями площадей поперечных сечений вне зоны геологических нарушений.

Для количественной оценки влияния ширины угольного целика между подготовительной выработкой и очистным выработанным пространством и мощности пород между пластами на параметры устойчивости подготовительных выработок проведены исследования посредством численного моделирования с настройкой входных параметров модели по результатам шахтных измерений деформаций, отжима угля с боков выработок, охраняемых целиками [7-10].

В процессе моделирования ширина целика изменялась в интервале 5-40 м с шагом 5-10 м. Длина очистного выработанного пространства принята равной 500 м, длина лавы 300 м. Мощность пород между пластами изменялась от 0,5 до 10 м с шагом 0,5-2,0 м. Предел прочности пород при сжатии между пластами изменялся в пределах 20-40 МПа с шагом 1 МПа. По результатам моделирования вычислялись параметры полного вектора упругих и упруго-пластических напряжений и деформаций, а также отношение остаточной прочности пород к исходной. В качестве критерия устойчивости угольного целика принято отношение ширины зоны упругого деформирования угля в целике к его проектной ширине более 0,4.

На рис. 2 показаны эпюры распределения вертикальных и горизонтальных напряжений в угольном пласте в пределах целика шириной 30 м и в окрестности вентиляционного штрека 2-6. Ширина штрека принята 5,40 м, глубина разработки H=500 м. Предел прочности угля при сжатии 10 МПа.

Как следует из графиков рис. 2, эпюра сжимающих вертикальных напряжений характеризуется наличием седлообразной зоны на расстоянии 5-17 м от штрека, что свидетельствует об устойчивом состоянии угольного целика. Это подтверждается графиками отношения остаточной прочности угля в целике к начальной прочности (рис. 3). Для оценки устойчивости целика принят следующий критерий состояния угля: отношение остаточной прочности к исходной $K_{ПР}$=0,7 соответствуют условиям перехода угля в упруго-пластическое блочное состояние, а при $K_{ПР}$≤0,5 происходит разрушение угля, то есть оценивается как в запредельном состоянии. Целик принимается устойчивым, если отношение ширины зоны упругого деформирования угля в целике к его проектной ширине превышает 0,4, то есть

$$K_{УСТ}=(L_{УП}/b)\geq 0{,}4, \quad (1)$$

где $K_{УСТ}$ – коэффициент устойчивости целика;

$L_{УП}$ – длина участка упругого деформирования угля в пределах целика, м;

b – ширина целика, м.

Коэффициент $K_{УСТ}$=0,4 получен по результатам анализа эпюр опорного горного давления и измерения предельных величин отжима угля с боков и конвергенции кровля-почва охраняемого штрека, при которых выработка сохранялась в эксплуатационном состоянии [11].

Таким образом, критерием устойчивости угольного целика между очистным выработанным пространством и подготовительной выработкой является отношение ширины зоны упругого деформирования угля в целике к его проектной ширине более 0,4.

Для оценки устойчивости пород на контуре охраняемого угольными целиками штрека и выбора параметров анкерной крепи определены в поперечном сечении выработки площади зон упруго-пластического и запредельного состояния пород и угля весьма сближенных пластов (рис. 4) [12].

Согласно графикам рис. 4, при увеличении ширины целика и мощности пород между сближенными пластами площадь дезинтегрированных пород в окрестности штрека уменьшается по нелинейной обратно пропорциональной зависимости. По величинам площадей дезинтеграции угля и пород определяется плотность и длина анкеров для обеспечения эксплуатационной устойчивости подземных выработок.

Выводы

1) На устойчивость подготовительных выработок при многоштрековой подготовке и отработке весьма сближенных угольных пластов выявлены следующие факторы, существенно влияющие на увеличение конвергенции кровли и почвы штреков: расстояние от очистного забоя, сокращение ширины угольного целика между очистным выработанным пространством и штреком, уменьшение мощности пород между пластами.

2) Критерием устойчивости ленточного угольного целика между очистным выработанным пространством и штреком является отношение ширины зоны упругого деформирования угля в целике к его проектной ширине более 0,4.

3) При увеличении ширины целика и мощности пород между сближенными пластами площадь дезинтегрированных пород в окрестности охраняемого штрека уменьшается по нелинейной обратно пропорциональной зависимости.

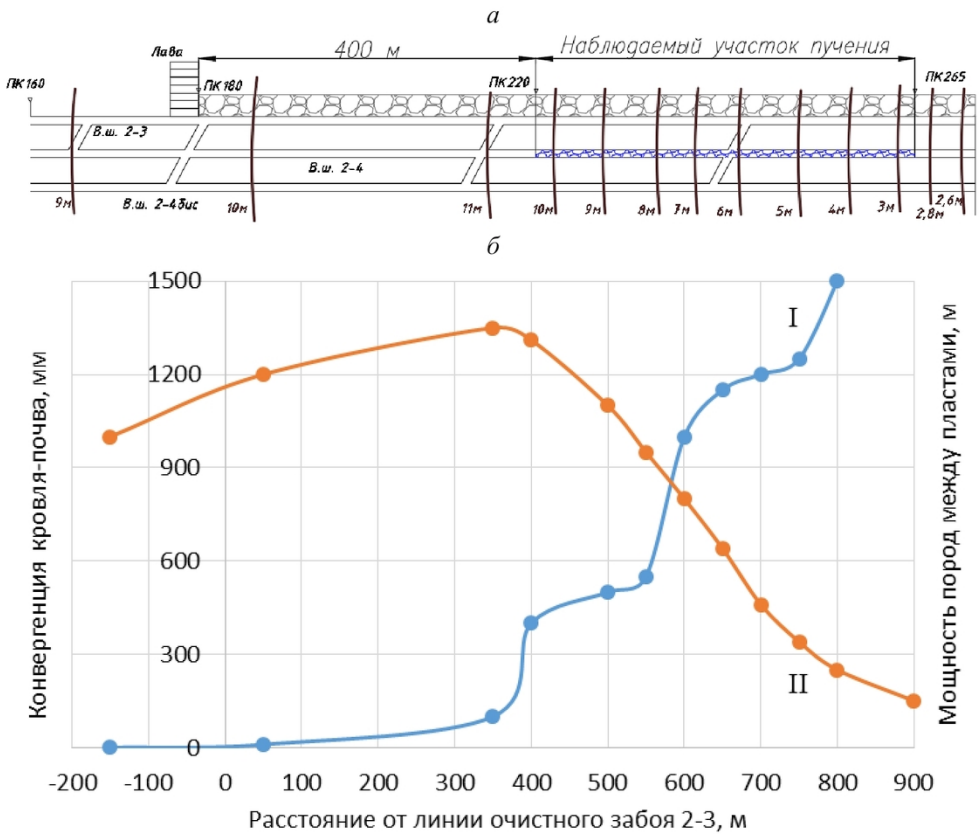

Рис. 1. Схема расположения горных выработок (а); графики изменения конвергенции кровля-почва вентиляционного штрека 2-4 (график I) и мощности пород между пластами 2 и 1, график II (б)

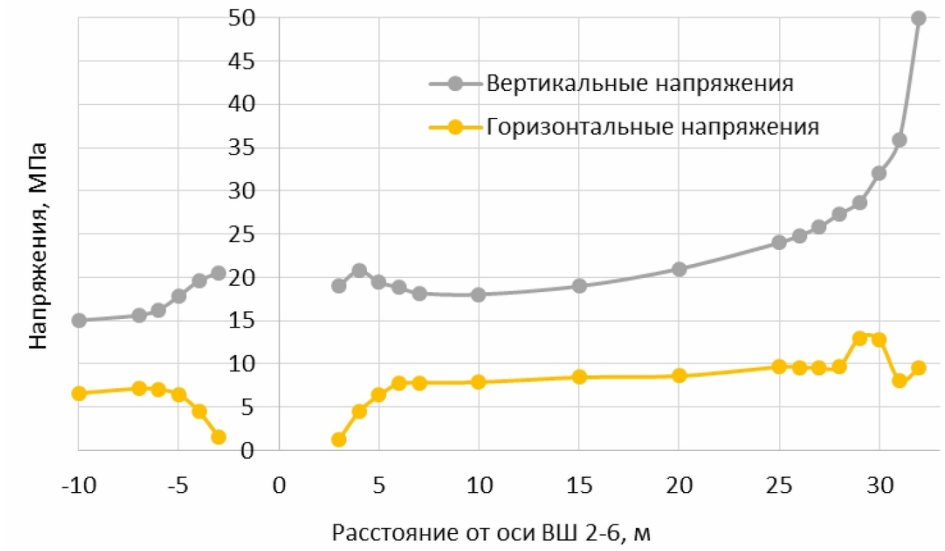

Рис.2. Графики распределения вертикальных и горизонтальных напряжений сжатия в угольном целике шириной 30 м и в окрестности вентиляционного штрека 2-6

а

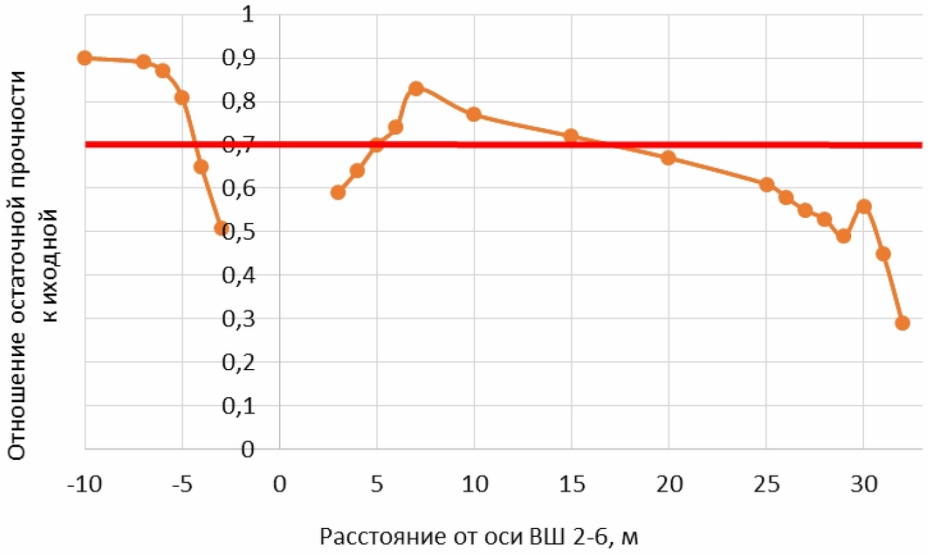

Рис. 3. Графики распределения $К_{УСТ}$ отношения остаточной прочности угля к исходной прочности в угольном целике шириной 30 м и в окрестности вентиляционного штрека 2-6 при мощности пород между сближенными пластами 1,4 м

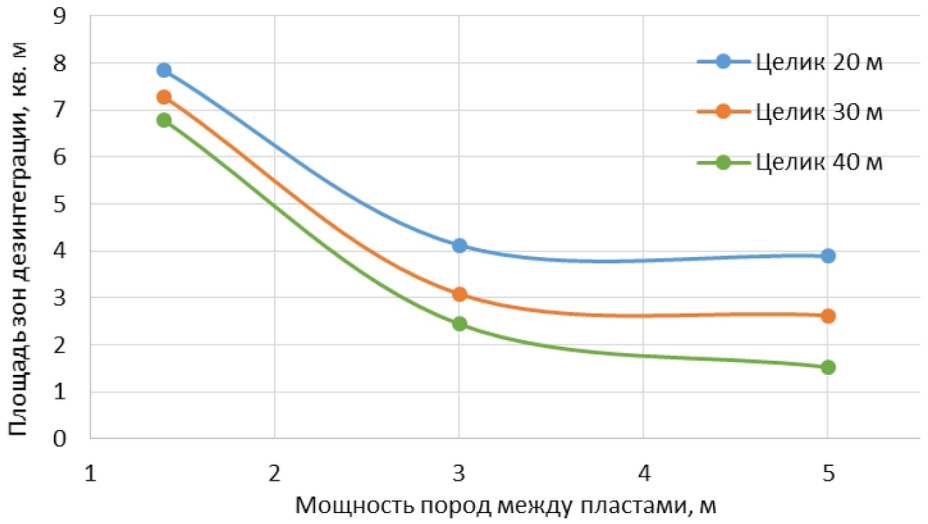

Рис. 4. Графики изменения площади зон упруго-пластического и запредельного состояния угля и пород в окрестности вентиляционного штрека 2-6

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Liu Xinjie, Li Xiaomeng, Pan Weidong. Analysis on the floor stress distribution and roadway position in the close distance coal seams. Arabian Journal of Geosciences. February 2016, 9:83.

2. Jun Zhao, Guangbo Li. Pressure-Relief Mining of the Working Face Under the Coal Pillar in the Close Distance Coal Seams. Geotechnical and Geological Engineering. August 2016, Volume 34, Issue 4, pp. 1067-1077.

3. Jun Zhao, Guangbo Li. Pressure-Relief Mining of the Working Face Under the Coal Pillar in the Close Distance Coal Seams. Geotechnical and Geological Engineering. August 2016, Volume 34, Issue 4, pp. 1067-1077.

4. Abouzar Vakili, John Albrecht, William Gibson. Mine-scale numerical modelling of longwall operations. Aziz, N (ed), 10th Underground Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy. 2010, pp. 115-124.

5. Esterhuizen G.S.; Karacan C.Ö. Development of numerical models to investigate permeability changes and gas emissions around longwall mining panel. Alaska Rocks 2005, The 40th U.S. Symposium on Rock Mechanics (USRMS), 25-29 June, Anchorage, Alaska, 13 p.

6. Tokalic Rade. The rational technology model selection of the underground drivage development for the given conditions. Model izbora racionalne tehnologije izrade podzemnih prostorija za date uslove / Tokalic Rade, Vidanovic Nebojsa, Savic Ljubinko // Underground mining engineering. – Belgrade, 2013, №23, pp. 11-20.

7. Yavuz H. An estimation method for cover pressure re-establishment distance and pressure distribution in the goaf of longwall coal mines. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. Volume 41, Issue 2, February 2004, pp. 193-205.

8. Bin Yu, Zhenyu Zhang, Tiejun Kuang, Jinrong Liu. Stress Changes and Deformation Monitoring of Longwall Coal Pillars Located in Weak Ground. Rock Mechanics and Rock Engineering. August 2016, Volume 49, Issue 8, pp. 3293-3305.

9. Jin-He Jia, Hong-Pu Kang, Xin-Rong Zhang. Evaluation of coal pillar loads during longwall extraction using the numerical method and its application. Journal of Coal Science and Engineering (China). June 2013, Volume 19, Issue 3, pp. 269-275.

10.Bin Yu, Zhenyu Zhang, Tiejun Kuang, Jinrong Liu. Stress Changes and Deformation Monitoring of Longwall Coal Pillars Located in Weak Ground. Rock Mechanics and Rock Engineering. August 2016, Volume 49, Issue 8, pp. 3293-3305.

11.Jin-He Jia, Hong-Pu Kang, Xin-Rong Zhang. Evaluation of coal pillar loads during longwall extraction using the numerical method and its application. Journal of Coal Science and Engineering (China). June 2013, Volume 19, Issue 3, pp. 269-275.

12.Tokalic Rade, Vidanovic Nebojsa, Savic Ljubinko. The rational technology model selection of the underground drivage development for the given conditions. Model izbora racionalne tehnologije izrade podzemnih prostorija za date uslove. Underground mining engineering. Belgrade, 2013, №23, p. 11-20.

Поступило в редакцию 14.11.2017
Received 14.11.2017