ISSN 2411-3336; e-ISSN 2541-9404

ЗАПИСКИ ГОРНОГО ИНСТИТУТА
Journal of Mining Institute
Сайт журнала: pmi.spmi.ru



Научная статья
УДК 622.268.2

Обеспечение устойчивости выемочных выработок при подготовке выемочных участков пологих угольных пластов тремя выработками

О.И.КАЗАНИН, А.А.ИЛЬИНЕЦ ✉
Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

***Как цитировать эту статью*:** Казанин О.И., Ильинец А.А. Обеспечение устойчивости выемочных выработок при подготовке выемочных участков пологих угольных пластов тремя выработками // Записки Горного института. 2022. Т. 253. С. 41-48. DOI: 10.31897/PMI.2022.1

Аннотация. На основе анализа планов горных выработок и натурных исследований на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» показано, что в условиях увеличения размеров выемочных столбов при отработке свит пологих угольных пластов напряженно-деформированное состояние массива по длине выработок существенно изменяется. Отмечена необходимость прогноза напряженно-деформированного состояния на стадии проектирования паспортов крепления выработок, а также последующего мониторинга состояния кровли выработки и его изменений в процессе ведения горных работ с использованием видеоэндоскопов. Приведены результаты численных исследований напряженно-деформированного состояния массива при подготовке выемочных участков тремя выработками для различных сочетаний ширины целиков между выработками для горно-геологических и горнотехнических условий шахты «Талдинская-Западная-2». Сравниваются напряжения в окрестности трех выработок со значениями, полученными при подготовке выемочных участков спаренными выработками. Представлен комплекс рекомендаций по выбору места расположения выработок, ширины целиков, паспортов крепления, обеспечивающих устойчивое состояние выработок в течение всего срока службы при минимальных потерях угля в целиках.

***Ключевые слова*:** угольные пласты; подземная разработка; выемочные выработки; устойчивость; целики; напряженно-деформированное состояние

***Принята*: 24.01.2022** ***Онлайн*: 24.03.2022** ***Опубликована*: 29.04.2022**

Введение. Переход на подготовку выемочных участков пологих угольных пластов с проведением трех выработок с каждой стороны выемочного столба [1] для поддержания высокого уровня производительности и максимального использования потенциала современного очистного оборудования [2] позволит обеспечить конкурентоспособность подземной угледобычи [3]. Прослеживается тенденция увеличения размеров выемочных участков: длин лав до 400 м и более, столбов – до 8 км [4]. Для обеспечения стабильно высоких показателей угледобычи необходимы своевременное воспроизводство фронта очистных работ и устойчивое состояние выработок и целиков [5]. Подготовка выемочных участков тремя штреками существенно расширяет возможности использования потенциала современного очистного оборудования [6], но при этом увеличиваются объемы проходческих работ. В таких условиях особую актуальность приобретает обеспечение устойчивости выработок [7] в течение всего срока их службы, исключающее дополнительные простои очистного оборудования и затраты на ремонт выработок [8].

На угольных шахтах России преимущественно распространена система разработки длинными столбами [9] с подготовкой выемочных участков спаренными выработками, разделенными неизвлекаемыми ленточными целиками. Выработки проводятся прямоугольной формы поперечного сечения, в качестве основного вида крепи применяется анкерная крепь [10]. Использование трех

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Записки Горного института. 2022. Т. 253. С. 41-48
DOI: 10.31897/PMI.2022.1
© О.И.Казанин, А.А.Ильинец, 2022

выработок с двумя рядами ленточных целиков между ними позволяет применять различные варианты ширины целиков и их расположения в массиве [11]. При этом параметры целиков должны обеспечивать эксплуатационное состояние выработок в течение всего срока службы, но не приводить к существенному увеличению потерь угля в целиках по сравнению с подготовкой спаренными выработками. Таким образом, геомеханическое обоснование параметров целиков и выработок при подготовке выемочных участков тремя штреками представляет собой актуальную научно-практическую задачу.

Методология. Для определения параметров целиков [12] и паспортов крепления выработок при переходе на подготовку выемочных участков тремя штреками выполнен обзор мирового опыта отработки пологих угольных пластов длинными забоями при такой схеме подготовки [13]; проведены натурные исследования состояния выработок и межстолбовых целиков на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» с 2016 по 2019 гг. при подготовке спаренными выработками и численные исследования методом конечных элементов, реализованные в ПК Ansys.

Подготовка выемочных участков спаренными выработками является основной на шахтах России. Анализ планов горных работ шахт АО «СУЭК-Кузбасс» («Комсомолец», «Полысаевская», «Талдинская-Западная-1», «Талдинская-Западная-2», «Им. А.Д.Рубана», «Им. В.Д.Ялевского», «Им. С.М.Кирова») показал общую тенденцию увеличения размеров выемочных участков [14]. Так, длина выемочных столбов по пласту 52 шахты «Им. В.Д.Ялевского» за последние 14 лет возросла с 2300 (2005 г.) до 4700 м (2019 г.); длина лавы за этот период увеличилась с 140 до 400 м [15].

Проведенные ранее исследования показали [16, 17], что реализация потенциала современного высокопроизводительного очистного оборудования требует изменения традиционно применяемой в России схемы подготовки выемочных столбов спаренными выработками [18], также необходим переход к подготовке выемочных участков тремя выработками (рис.1). Это позволяет более полно использовать потенциал современного оборудования при отработке выемочных столбов больших размеров [19], повышает возможности управления газовыделением и состоянием массива на выемочных участках. В то же время вопросы обеспечения устойчивости выемочных выработок и целиков в течение срока службы требуют дополнительной проработки.

На эффективность поддержания выемочных выработок, примыкающих к очистным забоям, влияют горно-геологические и горнотехнические факторы [20]: наличие участков зон повышенного горного давления, тектонически напряженные и разгруженные зоны и пр. [21]. В таких зонах меняется структура пород кровли, возрастает трещиноватость [22], что может привести к нарушению устойчивости выработок. Согласно проведенному анализу, на шести из семи действующих шахт АО «СУЭК-Кузбасс» поддержание выемочных выработок осложнено наличием зон повышенного горного давления, сформированных в результате отработки сближенных пластов. При больших размерах выемочных участков напряженно-деформированное состояние (НДС) массива

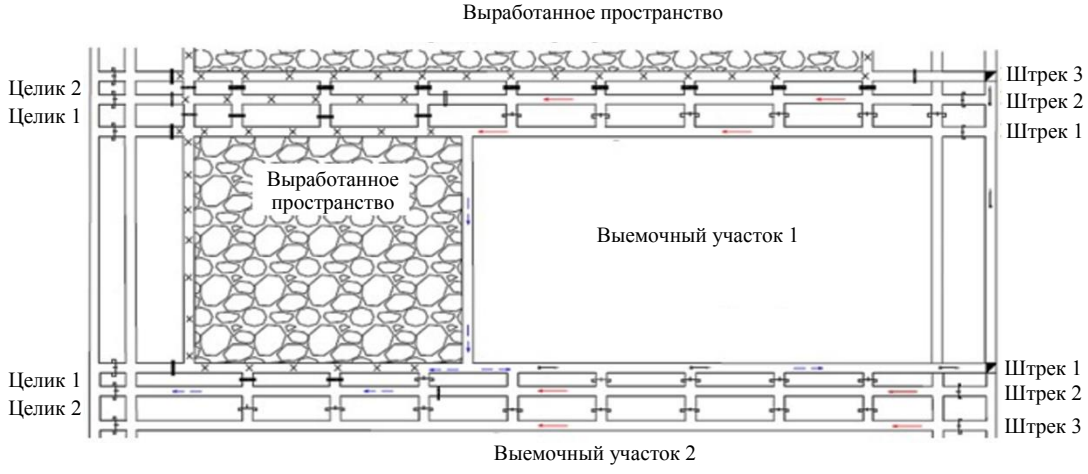


Рис.1. Подготовка выемочных участков тремя выработками

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

DOI: 10.31897/PMI.2022.1

Записки Горного института. 2022. Т. 253. С. 41-48
© О.И.Казанин, А.А.Ильинец, 2022

значительно изменяется по длине выемочного столба [23], поэтому прогноз НДС массива и его изменений в процессе ведения горных работ является необходимым для корректного выбора параметров паспортов крепления выработок.

Натурные исследования. Устойчивость выработок [24], закрепленных анкерной крепью [25], во многом зависит от трещиноватости [26] и переслаиваний пород кровли, которые могут быть оценены при помощи видеоэндоскопических исследований [27], которые проводились в выработках шахт «Им. С.М.Кирова», «Талдинская-Западная-1», «Им. В.Д.Ялевского», «Им. А.Д.Рубана», «Котинская», «Комсомолец», «Талдинская-Западная-2», примыкающих к очистным забоям, при подготовке выемочных участков спаренными выработками [28]. Всего с 2016 по 2019 гг. с помощью видеорегистрации исследовано более 50 шпуров диаметром 30 мм и длиной 7-8 м. Место бурения шпуров располагалось по центру поперечного сечения выработок так, чтобы устье шпура находилось на уровне кровли (рис.2).

Согласно исследованиям, в среднем трещиноватые породы [29] распространяются на глубину не более 1,5 м от устья шпура, что составляет примерно 20 % его длины. При наличии ложной кровли наблюдается зона интенсивно трещиноватых пород размером до 0,5 м. Основную часть по длине шпура (60-70 % общей длины) представляют монолитные породы, в том числе с винтовой направленностью борозд на его стенках. Незначительная часть приходится на трещиноватые, с изливом воды и переслаивающиеся породы (10-20 %).

По мере подвигания очистного забоя НДС массива вокруг выработки может существенно изменяться [30]. В зависимости от положения очистного забоя относительно замерных шпуров необходимо проводить видеосъемку в зонах: до/после подхода и в момент влияния опорного давления лавы [31]; остаточных напряжений после подхода второй лавы [32]. Данные, полученные в результате периодического обследования состояния выработок, и численная оценка НДС массива в рассматриваемые периоды позволят для конкретных условий разработать критерии обеспечения устойчивости выработок, которые в дальнейшем можно использовать в системах мониторинга состояния выработок в режиме реального времени.

Численные исследования. Для оценки устойчивости выработок при трехштрековой подготовке выемочных участков были проведены численные исследования НДС массива и его изменений [33] по мере развития горных работ с использованием метода конечных элементов, реализованного на базе ПК Ansys [34]. Исследования проводились для объемной задачи с применением упруго-пластичной модели. Воздействие нагрузок на горный массив учитывалось с помощью модели Кулона – Мора. Условия задачи позволяют получить максимально близкие значения

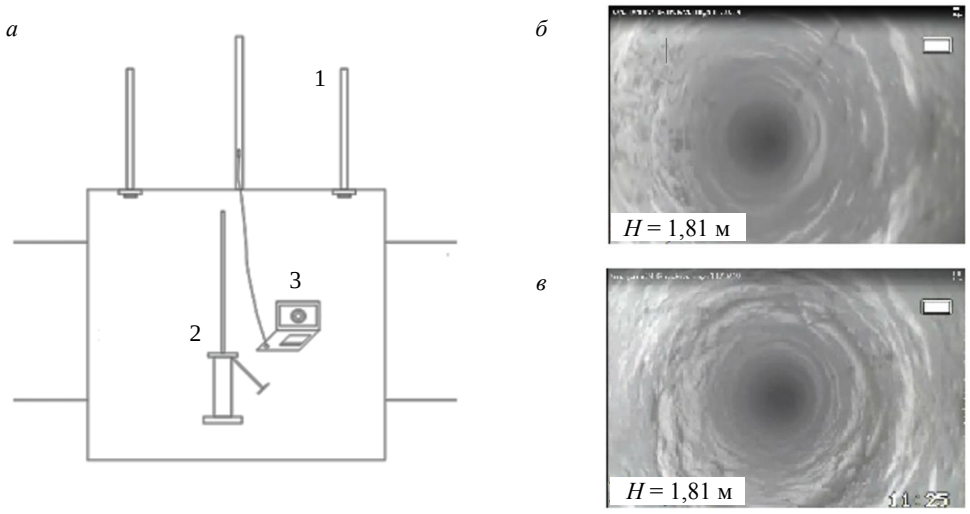


Рис.2. Схема видеоэндоскопического исследования (*а*) и фрагмент результатов исследований кровли выработок с использованием видеоэндоскопа: снимки шпура до начала влияния опорного давления лавы (*б*) и в зоне влияния опорного давления (*в*)

1 – анкерное крепление; 2 – ручная буровая установка; 3 – видеоэндоскоп

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Записки Горного института. 2022. Т. 253. С. 41-48 DOI: 10.31897/PMI.2022.1
© О.И.Казанин, А.А.Ильинец, 2022

параметров НДС к результатам натурных исследований геомеханических процессов с учетом горно-геологических условий вмещающего массива и параметров подготовки выемочного участка [35]. Граничные условия задачи приняты в соответствии с гравитационным типом геомеханических условий разработки и представлены как ограничения нормальных перемещений на границах расчетной области: верхняя граница модели соответствует дневной поверхности, свободна от внешних нагрузок и удовлетворяет условию $\sigma_y(0, x, z) = \gamma qH = 0$ на нижней и боковых границах, соответственно вертикальные и горизонтальные компоненты вектора перемещений и касательные компоненты тензора напряжений принимались нулевыми. Объемная сила γq отражает параметр веса, с которым массив действует на горизонтальную нижнюю границу модели. Контакты пород с различными характеристиками находятся в жестком сцеплении относительно друг друга, а контуры открытых обнажений (выработок) свободны от внешних нагрузок ($\sigma_n = \tau_n = 0$).

При подготовке выемочных участков тремя штреками (рис.1) в рассматриваемых горно-геологических условиях (шахта «Талдинская-Западная-2») возможны различные вариации системы «выемочный участок 1 (ВУ1) – штрек 1 (Ш1) – целик 1 (Ц1) – штрек 2 (Ш2) – целик 2 (Ц2) – штрек 3 (Ш3) – выемочный участок 2 (ВУ2)», качественное описание которых представлено в табл.1.

Таблица 1

Варианты расположения выработок в системе ВУ-Ш3

Соотношение размеров целиков	Целик 1 < Целик 2	Целик 1 = Целик 2	Целик 1> Целик 2
Ширина целика, м	8,28 и 16,52	12,4	16,52 и 8,28
Суммарная ширина целиков, м	30	30	30
Ширина выработки, м	5,2	5,2	5,2

Модель массива горных пород включает в себя: угольный пласт 69, вмещающие породы, выработанное пространство и выработки, оконтуривающие выемочный участок (рис.3). Основные физико-механические свойства пласта и вмещающих пород соответствуют свойствам реального массива в условиях шахты «Талдинская-Западная-2».

Для численных исследований было построено три варианта модели с разным количеством выемочных выработок и их расположением в массиве. Модель с двумя выемочными штреками (рис.4, *а*) отражает НДС массива (главные действующие вертикальные напряжения) при отработке пологих угольных пластов с применением наиболее распространенной на шахтах России схемы подготовки выемочных участков. Вариант подготовки тремя штреками (рис.4, *б*) реализован путем расположения дополнительной выработки с сохранением размеров целика [36], используемого при подготовке спаренными штреками. Рассмотрено три случая размещения штрека в целике, имеющем суммарную ширину 30 м (табл.2). Каждая модель позволяет рассмотреть три этапа поддержания штреков в массиве во времени и оценить НДС массива горных пород вокруг выемочных выработок. Исследования проводились для глубины ведения горных работ 550 м.

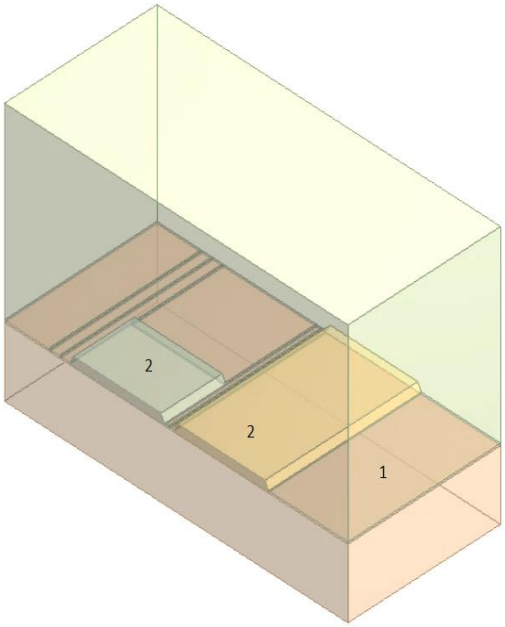


Рис.3. Модель массива горных пород
1 – угольный пласт 69; 2 – выработанное пространство

В табл.2 представлены эпюры вертикальных напряжений, полученные в трех основных сечениях: вне зоны влияния опорного давления лавы (А-А), в зонах опорного давления лавы (Б-Б) и остаточного опорного давления за лавой (В-В).

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

DOI: 10.31897/PMI.2022.1

Записки Горного института. 2022. Т. 253. С. 41-48
© О.И.Казанин, А.А.Ильинец, 2022

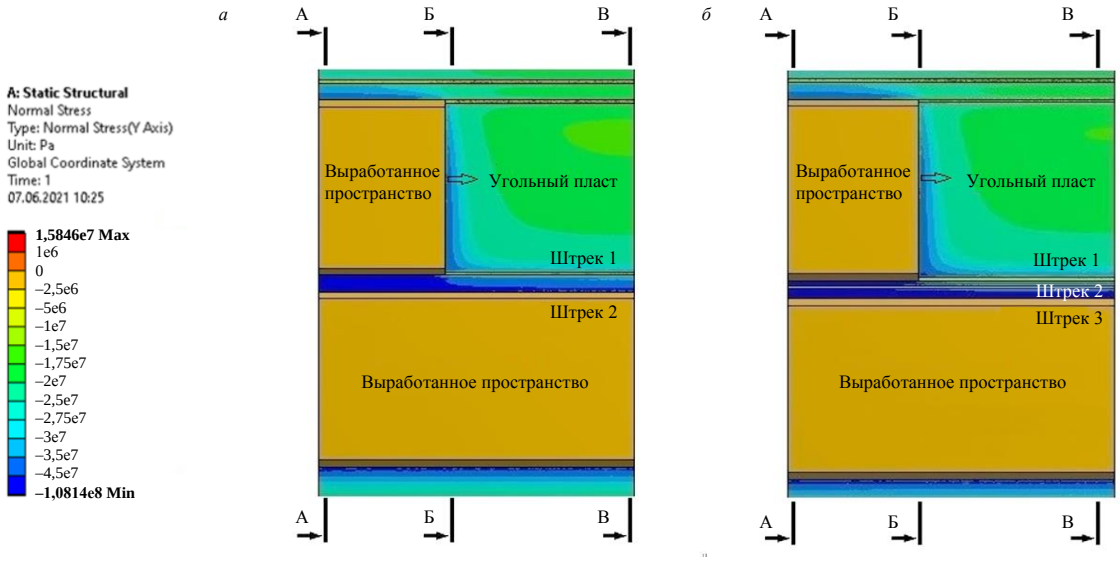
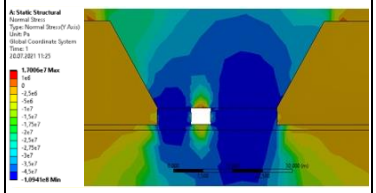
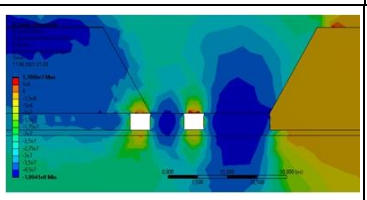
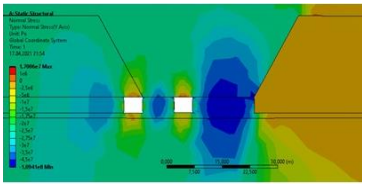
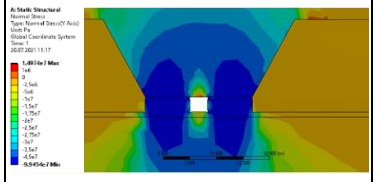
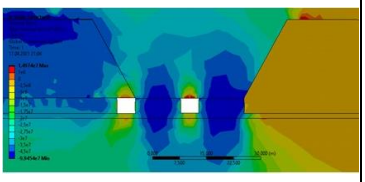
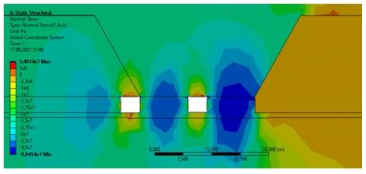
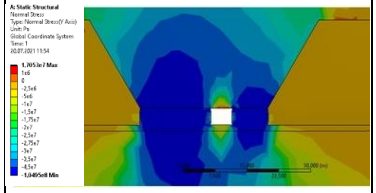
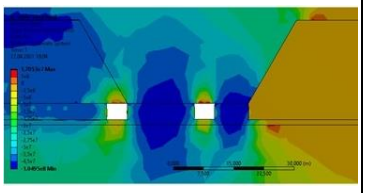
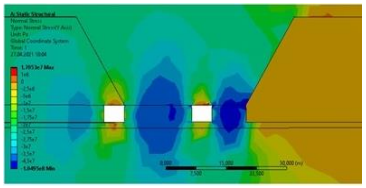
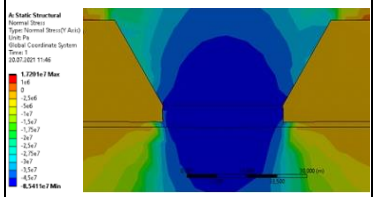
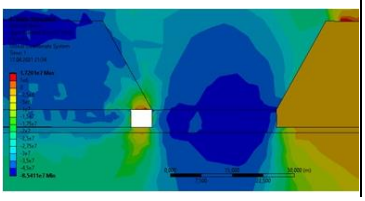
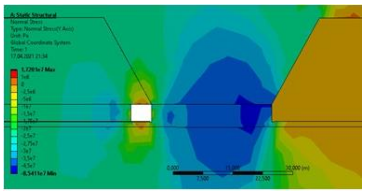


Рис.4. Результаты исследований напряженного состояния массива в рассматриваемых сечениях по пласту 69 при подготовке выемочных участков: *а* – спаренными выработками; *б* – тремя выработками

Таблица 2

Поля вертикальных напряжений по трем основным сечениям

Схема подготовки	Сечения		
	А-А	Б-Б	В-В
Трехштрековая. Ширина целиков 8,28 и 16,52 м			
Трехштрековая. Ширина целиков 12,4 м			
Трехштрековая. Ширина целиков 16,52 и 8,28 м			
Двухштрековая. Ширина целика 30 м			

Как видно из табл.2, напряжения в массиве вокруг выработок по мере отработки выемочного участка возрастают с 7 до 12-14 МПа. Значения главных вертикальных действующих напряжений в кровле, относительных продольных деформаций и перемещений, возникающих вокруг выработок, представлены в табл.3, 4.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Записки Горного института. 2022. Т. 253. С. 41-48
DOI: 10.31897/PMI.2022.1
© О.И.Казанин, А.А.Ильинец, 2022

Таблица 3

НДС массива по контуру выработок по пласту 69 при подготовке тремя выработками

Показатель	Ширина целиков								
	8, 28 и 16,52 м			12,4 м			16,52 и 8,28 м		
Сечение	А-А	Б-Б	В-В	А-А	Б-Б	В-В	А-А	Б-Б	В-В
Напряжения в кровле, МПа	11,54	8,66	7,012	10,43	10,73	7,05	11,29	9,22	8,10
Напряжения в почве, МПа	10,76	8,77	5,91	7,23	7,65	5,14	8,84	8,9	5,42
Относительные продольные деформации ε_x	0,0018	0,0011	0,0009	0,0011	0,0010	0,0006	0,0017	0,0009	0,0008
Относительные продольные деформации ε_y	0,0179	0,0128	0,0093	0,0091	0,0070	0,0059	0,01975	0,01490	0,0126
Относительные продольные деформации ε_z	0,0012	0,0007	0,0005	0,0008	0,0006	0,0003	0,0011	0,0007	0,0004
Общие перемещения, м	0,162	0,161	0,154	0,177	0,174	0,167	0,168	0,163	0,156
Отношение действующих вертикальных напряжений к пределу прочности пород кровли	0,34	0,25	0,20	0,30	0,31	0,21	0,33	0,27	0,23

Таблица 4

НДС массива по контуру выработок по пласту 69 при подготовке двумя выработками

Показатель	Ширина целика 30 м	
Сечение	Б-Б	В-В
Максимальные напряжения в кровле, МПа	8,63	5,36
Относительные продольные деформации ε_x	0,0007	0,0005
Относительные продольные деформации ε_y	0,0122	0,0098
Относительные продольные деформации ε_z	0,00004	0,00002
Перемещения, м	0,161	0,154
Отношение действующих вертикальных напряжений к пределу прочности пород кровли	0,25	0,16

Согласно представленным моделям, оценивалось состояние пород в кровле и почве на расстоянии 2,5 м от контура выработок. При подготовке тремя штреками исследовались напряжения, сформированные вокруг дополнительной выработки. Полученные значения позволяют определить напряжения, формируемые вокруг дополнительной выработки, и оценить состояние пород кровли и почвы на протяжении всего срока службы выработки (рис.5)

Смещение средней выработки в сторону очистного забоя обеспечивает снижение влияния опорного давления на третью выработку в среднем на 10-20 %. При этом уменьшение размеров целика между штреком, примыкающим к лаве, и штреком, погашаемым за очистным забоем, незначительно увеличивает действующие напряжения. При сравнении напряжений в окрестности трех выработок со значениями, полученными при подготовке выемочных участков спаренными

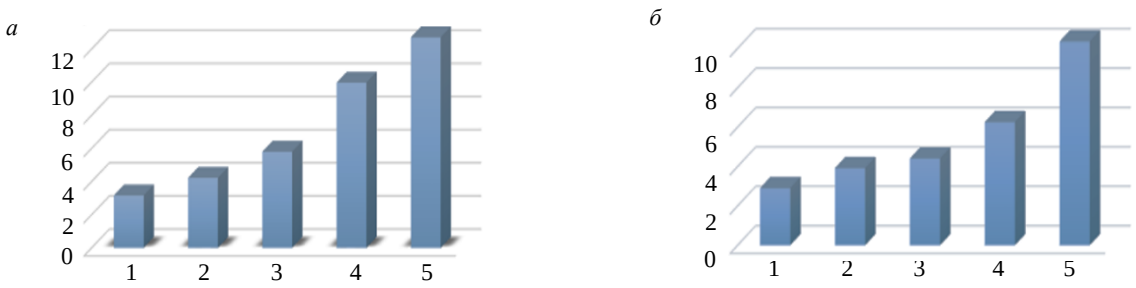


Рис.5. Вертикальные напряжения в кровле (*а*) и почве (*б*) дополнительной выработки

1 – до начала влияния опорного давления лавы; 2 – в зоне влияния опорного давления первой лавы; 3 – в зоне остаточного опорного давления первой лавы; 4 – в зоне опорного давления второй лавы; 5 – в зоне остаточного опорного давления второй лавы

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

выработками, наблюдается увеличение максимального уровня напряжений в представленных сечениях на 10-13 %.

Заключение. Увеличение размеров выемочных участков на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» приводит к существенному изменению условий поддержания выработок по длине выемочного столба. Для условий пласта 69 шахты «Талдинская-Западная-2» на глубинах до 550 м при длине выемочных столбов до 4700 м можно выделить до 3-5 участков по длине столба, условия поддержания выработок в которых варьируются от благоприятных до крайне сложных.

При переходе на подготовку выемочных участков тремя выработками наиболее предпочтительным с точки зрения обеспечения их устойчивости является вариант с использованием целиков разной ширины с расположением у выработанного пространства отрабатываемого столба целика меньшего размера, работающего в податливом режиме.

Подготовка выемочных участков тремя выработками возможна без увеличения потерь угля по сравнению с подготовкой спаренными выработками, т.е. с использованием целиков между выработками, суммарная ширина которых не превышает ширину межштрекового целика при подготовке спаренными выработками. С точки зрения поддержания выработок, изменения НДС массива являются незначительными (увеличение уровня напряжений не превышает 13 %).

При переходе на подготовку выемочных участков тремя выработками следует усилить крепление бортов выработок анкерной крепью, так как возможно разрушение бортов выработок со стороны целиков с последующим нарушением устойчивости кровли.

Для подготовки рекомендаций по внесению дополнений в инструкцию по анкерному креплению выработок на угольных шахтах необходимы шахтные исследования устойчивости выработок и целиков на выемочных участках, подготовленные с использованием трех выработок с каждой стороны столба, включая эндоскопические исследования состояния кровли на разных этапах эксплуатации выработок выемочного участка.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Sidorenko A.A., Ivanov V.V., Sidorenko S.A.* Computer modeling of rock massif stress condition for mining planning on overworked seam // International Conference on Information Technology in Business and Industry (ITBI 2020), 6-8 April 2020, Novosibirsk, Russia. Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1661. № 012082. DOI: 10.1088/1742-6596/1661/1/012082

2. *Zhu Weibing, Jingmin Xu, Guang Xu.* Mechanism and control of roof fall and support failure incidents occurring near longwall recovery roadways // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2017. Vol. 117. № 11. P. 1063-1072. DOI: 10.17159/2411-9717/2017/v117n11a11

3. *Севостьянов Ю.К., Ремезов А.В.* Многоштрековая подготовка угольных пластов // Международная научно-практическая конференция «Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов», 5-6 июня 2012, Новокузнецк, Россия. Сибирский государственный индустриальный университет, 2012. С. 116-117.

4. *Buddery P., Morton C., Scott D., Owen N.* A continuing roof and floor monitoring systems for tailgate roadways // Proceedings of the 18th Coal Operators' Conference, Mining Engineering, 7-9 February 2018, Wollongong, Australia. University of Wollongong, 2018. P. 72-81.

5. *Смирнов А.В.* Особенности напряженно-деформированного состояния породного массива в окрестности системы «лава-парные штреки» // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 8. С. 37-44.

6. *Воскобоев Ф.Н., Вовк А.И.* Многоштрековая подготовка выемочных участков – способ эффективной и безопасной отработки угольных пластов в сложных условиях // Записки Горного института. 2006. Т. 168. С. 75-78.

7. *Господариков А.П., Зацепин М.А.* Математическое моделирование нелинейных краевых задач геомеханики // Горный журнал. 2019. № 12. С. 16-20. DOI: 10.17580/gzh.2019.12.03

8. *Nikiforov A.V., Vinogradov E.A., Kochneva A.A.* Analysis of multiple seam stability // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2019. Vol. 10. Iss. 2. P. 1132-1139.

9. *Yan Shuai, Chen Yong, Zhang Zi-Zheng.* Investigation of multi entry gateroad layout in high gassy coal mines // Journal of China Coal Society. 2013. Vol. 38. Iss. 9. P. 1557-1562 (in Chinese).

10. *Кокоев С.Г.* Геомеханическое обоснование оптимальных параметров целиков при многоштрековой схеме подготовки угольных пластов // Записки Горного института. 2011. Т. 189. С. 226-228.

11. *Разумов Е.А.* Оценка факторов сложности условий ведения горных работ на современных угольных шахтах // Уголь. 2019. № 10. С. 16-21. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-10-16-21

12. *Ремизов А.В., Устюгова Е.А.* О технико-экономических показателях угледобывающих предприятий на примере шахт ООО «Компания «ЗапСибУголь» // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2018. № 2 (24). С. 14-17.

13. Longwall production remains steady // Coal Age. January/February, 2019. URL: https://www.coalage.com/flipbooks/january-february-2019 (дата обращения 29.04.2021).

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

14. *Майборода А.А.*, *Тиркель М.Г.* Типизация геологических нарушений угольных пластов при их прогнозе методами шахтной геофизики // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. 2011. № 9. Ч. 1. С. 394-404.

15. *Калинин С.И.*, *Роут Г.Н.*, *Игнатов Ю.М.*, *Черданцев А.М.* Обоснование суточной добычи угля из лавы длиной 400 м в условиях шахты им. В.Д.Ялевского // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2018. № 5. С. 27-34. DOI: 10.26730/1999-4125-2018-5-27-34

16. *Полухин В.А.*, *Белодедов А.А.*, *Сащенко В.В.* Влияние длины лавы и глубины ее расположения на устойчивость пород горных выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. № 12. С. 255-259.

17. *Зубов В.П.* Ресурсосберегающие технологии подземной разработки пластовых месторождений // Горный журнал. 2017. № 4. С. 95-97. DOI: 10.17580/gzh.2017.04.19

18. *Sidorenko A.A.*, *Sishchuk J.M.* Stability of undermining seam panel entries at retreating longwall multiple mining // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2016. Vol. 7. Iss. 2. P. 927-935.

19. *Daigle L.*, *Mills K.* Experience of monitoring shear movements in the overburden strata around longwall panels // Proceedings of the 17th Coal Operators' Conference, Mining Engineering, 8-10 February 2017, Wollongong, Australia. University of Wollongong, 2017. P. 125-137.

20. *Lynch R.* A continuing roof and floor monitoring systems for tailgate roadways // Proceedings of the 18th Coal Operators' Conference, Mining Engineering, University of Wollongong, 7-9 February 2018, Wollongong, Australia. University of Wollongong, 2018. P. 31-38.

21. *Гриб Н.Н.*, *Кирейченков А.А.*, *Кузнецов П.Ю.* Влияние горно-геологических факторов на устойчивость породных обнажений в подготовительных горных выработках на стадии их проведения // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4. С. 1-8.

22. *Литвинский Г.Г.*, *Смекалин Е.С.*, *Кладко В.И.* Методика оценки и критерии устойчивости горных выработок // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. 2020. № 19 (62). С. 5-14.

23. *Мешков А.А.*, *Волков М.А.*, *Ордин А.А. и др.* О рекордной длине и производительности очистного забоя шахты имени В.Д.Ялевского // Уголь. 2018. № 7. С. 4-7. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-7-4-7

24. *Кострыкин А.П.*, *Шайдулин К.В.*, *Ушаков Е.Н.*, *Мерзляков П.Е.* Обзор применяемых методов контроля эффективности анкерного крепления // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2010. № 2. С. 207-211.

25. *Демин В.Ф.*, *Демина Т.В.*, *Алиев С.Б.*, *Разумняк Н.Л.* Оценка параметров деформационных процессов в подготовительных выработках при применении анкерного крепления // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. № S7. С. 28-36.

26. *Жуков Е.М.*, *Лугинин И.А.*, *Кропотов Ю.И. и др.* Оценка влияния трещин на устойчивость пород в кровле подготовительных выработок угольных шахт // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2015. № 4 (14). С. 26-30.

27. *Бахтин Е.В.*, *Кузьмин С.В.*, *Мешков С.А.* Мониторинг структуры пород кровли и состояния крепления капитальных и подготовительных горных выработок на шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс» // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 10. С. 459-470.

28. *Phuc Le Quang*, *Zubov V.*, *Phum Duc Thang*. Design a Reasonable Width of Coal Pillar Using a Numerical Model. A case study of Khe Cham basin (Vietnam) // Inżynieria Mineralna. 2020. Vol. 1. Iss. 2. P. 115-122. DOI: 10.29227/IM-2020-02-15

29. *Жуков Е.М.*, *Кропотов Ю.И.*, *Лугинин И.А.*, *Полошков С.И.* Классификация трещин и расслоений пород кровли по степени опасности с точки зрения возможности обрушения кровли в горных выработках // Молодой ученый. 2016. № 2 (106). С. 142-146.

30. *Сидоров Д.В.* Научно-методическое обоснование параметров податливых междукамерных целиков при камерно-столбовой системе разработки удароопасных рудных месторождений на больших глубинах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 12. С. 28-31.

31. *Розенбаум М.А.*, *Черняховский С.М.*, *Савченко Е.С.* Исследования высоты расслоения пород кровли в горных выработках в зоне опорного давления // Записки Горного института. 2011. Т. 190. С. 210-213.

32. *Трушко О.В.*, *Петров Д.Н.*, *Стрелецкий А.В.* Обеспечение устойчивости горных выработок // Известия вузов. Горный журнал. 2012. № 2. С. 51-55.

33. *Yubing Gao*, *Dongqiao Liu*, *Xingyu Zhang*, *Manchao He*. Analysis and Optimization of Entry Stability in Underground Longwall Mining // Sustainability. 2017. Vol. 9. Iss. 11. № 2079. DOI: 10.3390/su9112079

34. *Stebnev A.V.*, *Mukhortikov S.G.*, *Zadkov D.A.* Analysis of operation of powered longwall systems in mines of SUEK-Kuzbass // Eurasian Mining. 2017. № 2. P. 28-32. DOI: 10.17580/em.2017.02.07

35. *Chunlei Zhang*, *Lei Yu*, *Ruimin Feng et al.* A Numerical Study of Stress Distribution and Fracture Development above a Protective Coal Seam in Longwall Mining // Processes. 2018. Vol. 6. Iss. 9. № 146. DOI: 10.3390/pr6090146

36. *Казанин О.И.*, *Сидоренко А.А.*, *Мешков А.А.* Организационно-технологические принципы реализации потенциала современного высокопроизводительного очистного оборудования // Уголь. 2019. № 12 (1125). С. 4-13. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-12-4-13

***Авторы*: О.И.Казанин,** *д-р техн. наук, декан, https://orcid.org/0000-0001-9663-6713* (*Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия*), **А.А.Ильинец,** *аспирант, andrey4729@hotmail.com, https://orcid.org/0000-0003-1377-6206* (*Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия*).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0