

DOI: 10.26730/1999-4125-2018-1-66-74

УДК [622.831:622.273.3]:519.876.5

**ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОРОТКОЗАБОЙНОЙ
ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ МОЩНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ****GEOMECHANICAL SUPPORT OF SHORTWALL TECHNOLOGY FOR
DEVELOPMENT OF THICK COAL SEAMS****Черепов Андрей Александрович,**
технический директор
Andrey A. Cherepov,
Technical DirectorООО «Распадская Угольная компания», г. Междуреченск, Коммунистический просп., 27А
LLC Raspadskaya Coal Company, Mezhdurechensk, Kommunisticheskoy Avenue, 27A

Аннотация: Данная статья посвящена исследованиям геомеханического обеспечения короткозабойной технологии разработки мощных угольных пластов, подтверждению практической возможности отработки короткими забоями мощного склонного к газодинамическим явлениям угольного пласта на глубине более 200 м, выявлению следующих закономерностей распределения напряжений и деформаций геомассива при отработке удароопасных пластов короткими забоями, разработка системы геомеханического обеспечения технологии отработки короткими забоями склонных к горным ударам мощных угольных пластов. Актуальной является проблема разработки угольных месторождений, включающих свиты мощных угольных пластов, так как технологии их отработки как длинными, так и короткими забоями характеризуются некоторыми недостатками. В процессе опытно-промышленного освоения технологии отработки мощного склонного к самовозгоранию и газодинамическим явлениям угольного пласта короткими забоями обоснованы актуальные для горной науки и практики закономерности и рекомендации.

Abstract: This article is devoted to the studies of geomechanical support of shortwall technology for development of thick coal seams. It aims to confirm the practical possibility of mining a thick coal seam prone to manifestation of gas dynamic events by shortwall faces at a depth of over 200 m, and to identify the regularities in the distribution of stresses and strains of rock strata in mining rock-bump hazardous seams by shortwall faces. The article describes the developed system of geomechanical support of the technology for mining thick coal seams prone to rock bumps by shortwall faces. The current problem is the development of coal deposits, including formations of thick coal seams, as the technologies for their development, both by long and short faces, feature certain shortcomings. In the process of pilot-industrial implementation of the technology for mining a thick coal seam prone to spontaneous combustion and gas dynamic events by shortwall faces, the regularities and recommendations important for mining practices and for the mining science have been developed.

Ключевые слова: угольный пласт, мощный угольный пласт, короткозабойная технология, горный удар, Распадская-Коксовая, газодинамические явления.

Key words: coal seam, thick coal seam, shortwall mining technology, rock bump, Raspadskaya-Koksovaya, gas-dynamic events.

На угольных шахтах Кузбасса сложилась неблагоприятная ситуация в части ограничения по требованиям Инструкции по горным ударам [1] области безопасного применения систем разработки с короткими забоями на пластах, склонных к газодинамическим явлениям при глубине их залегания более 200 м. Возможность расширения диапазона горно-геологических и горнотехнических условий отработки угольных пластов короткими забоями подтверждается положительным опытом их применения на зарубежных шахтах, а также необходимостью отработки временно за-

консервированных запасов угля на действующих шахтах. Согласно результатам анализа [2] при добыче одной тонны угля длинными очистными забоями в недрах остаются три тонны балансовых запасов, доступ к которым в будущие периоды развития шахтного фонда ограничен по условиям безопасности и экономическим факторам.

Участки временно законсервированных запасов угля на действующих шахтах характеризуются следующими отличительными признаками:

- геометрически неправильная форма с уступами в краевой части пласта, что приводит к фор-

мированию концентраторов упругой энергии, которая может проявляться в форме горного удара;

- наличие угольных целиков, оконтуренных очистным выработанным пространством, с ограниченным доступом к целикам через действующие выработки;

- форма и размеры выемочных полей, небла-

- наличие в выемочном участке дизъюнктивных нарушений, которые при их вскрытии и отработке временно законсервированных запасов угля повышают риск возникновения газодинамических явлений;

- расположение выемочных участков в зонах повышенного горного давления, под затопленны-

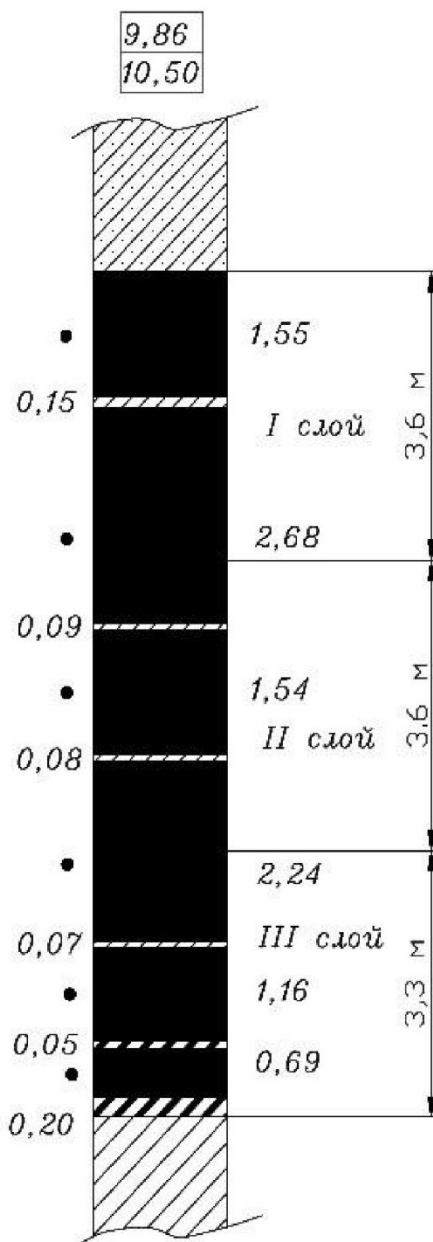


Рис. 1. Литологическая колонка по геологоразведочной скважине №3270, шахта ЗАО «Распадская-Коксовая»

гоприятные для применения длинных высокопроизводительных комплексно-механизированных забоев;

- наличие в выемочных участках выработок, которые существенно влияют на неравномерность напряжённо-деформированного состояния и повышают риск возникновения горных ударов;

ми водой выработками на вышележащих пластах, в контурах эндогенных пожаров;

- глубина разработки больше регламентированной Инструкцией по горным ударам [1].

Актуальной является проблема разработки угольных месторождений, включающих свиты мощных угольных пластов, так как технологии их

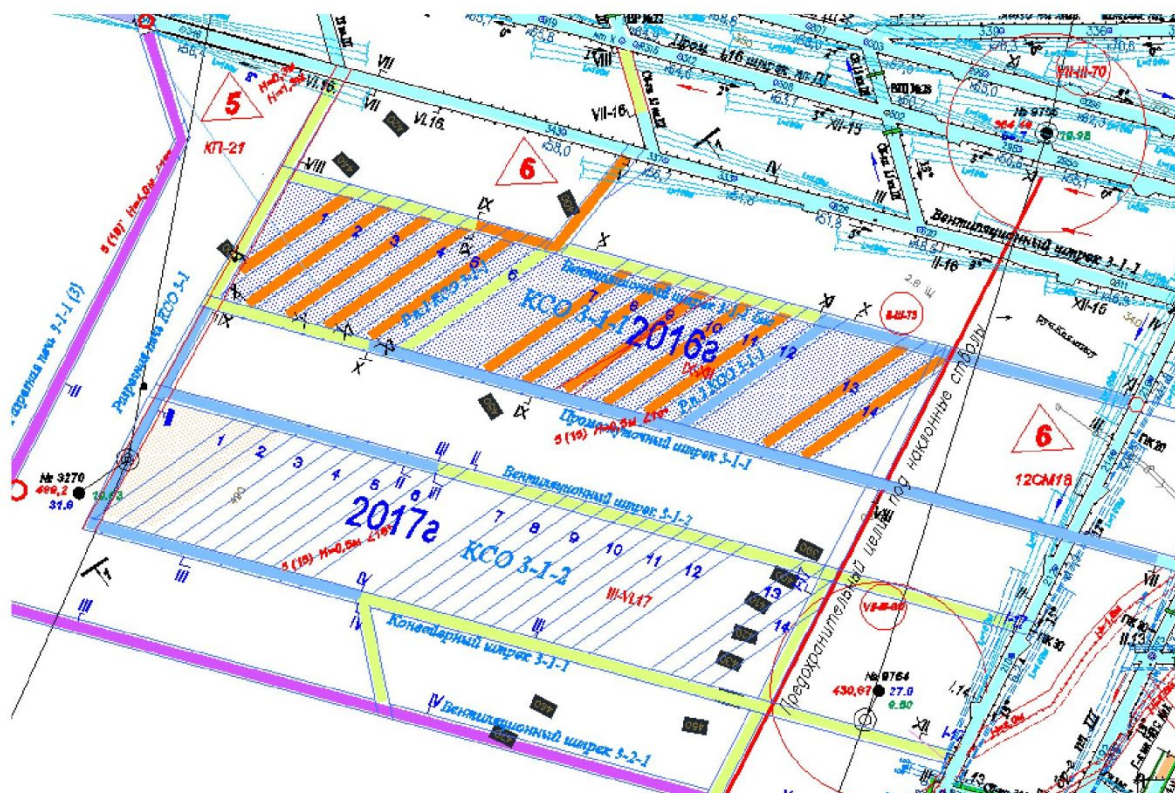


Рис. 2. Выкопировка из плана горных выработок пласта III шахты ЗАО «Распадская-Коксовая»

отработки как длинными, так и короткими забоями характеризуются следующими недостатками [3-5]:

- потери угля до 35%;
- высокий риск возникновения эндогенных пожаров в выработанном пространстве;
- большая металлоёмкость машин и оборудования;
- высокий риск возникновения газодинамических явлений.

Среди перспективных направлений безопасной подземной разработки склонных к газодинамическим явлениям мощных угольных пластов следует выделить роботизированные технологии выемки угля в коротких забоях. Однако для разработки и реализации роботизированных технологий необходимо накопить соответствующий опыт отработки склонных к горным ударам мощных угольных пластов короткими забоями.

С этой целью в условиях шахты ЗАО «Распадская-Коксовая» (Кузбасс) были проведены опытно-промышленные испытания вариантов отработки мощного пологого пласта III (рис. 1).

Пласт III – один из самых мощных на участке «Поле шахты №2» (рис. 1), выдержанный, строение от простого до очень сложного. Содержит более 8 прослоев породы мощностью 0,05-0,40 м, представленных аргиллитами и алевролитами. Мощность пласта от 7,86 до 13,03 м, в среднем

10,64 м. Выше пласта III залегает пласт I на расстоянии 38-40 м. Ложная кровля представлена аргиллитами. Непосредственная кровля пласта мощностью 17,4 м представлена алевролитами крупно- и мелкозернистыми. На границе непосредственной и основной кровли залегает угольный пласт мощностью 0,1-0,4 м. Основная кровля представлена песчаниками светло-серыми, мелкозернистыми, характеризуется как труднообрушающаяся. Непосредственная почва представлена алевролитами мелкозернистыми с переслаиванием алевролитов с песчаниками, местами трещиноватая. Пласт склонный к горным ударам.

Глубина горных работ на выемочных участках пласта составляет 300-370 м. Проектная мощность участка 300 тыс. т угля в год. Пласт III мощностью 10,2 м отрабатывается короткими забоями с полойной выемкой угля в камерах шириной 7 м и оставлением междукамерных целиков такой же ширины.

На рис. 2 приведена выкопировка из плана горных выработок пласта III мощностью 10,2 м. Пласт отрабатывается короткими забоями с полойной выемкой угля в камерах шириной 7 м и оставлением междукамерных целиков такой же ширины (рис. 3).

Шахтные исследования проводились в течение трёх лет совместно с ВНИМИ и НЦ «ВостНИИ».

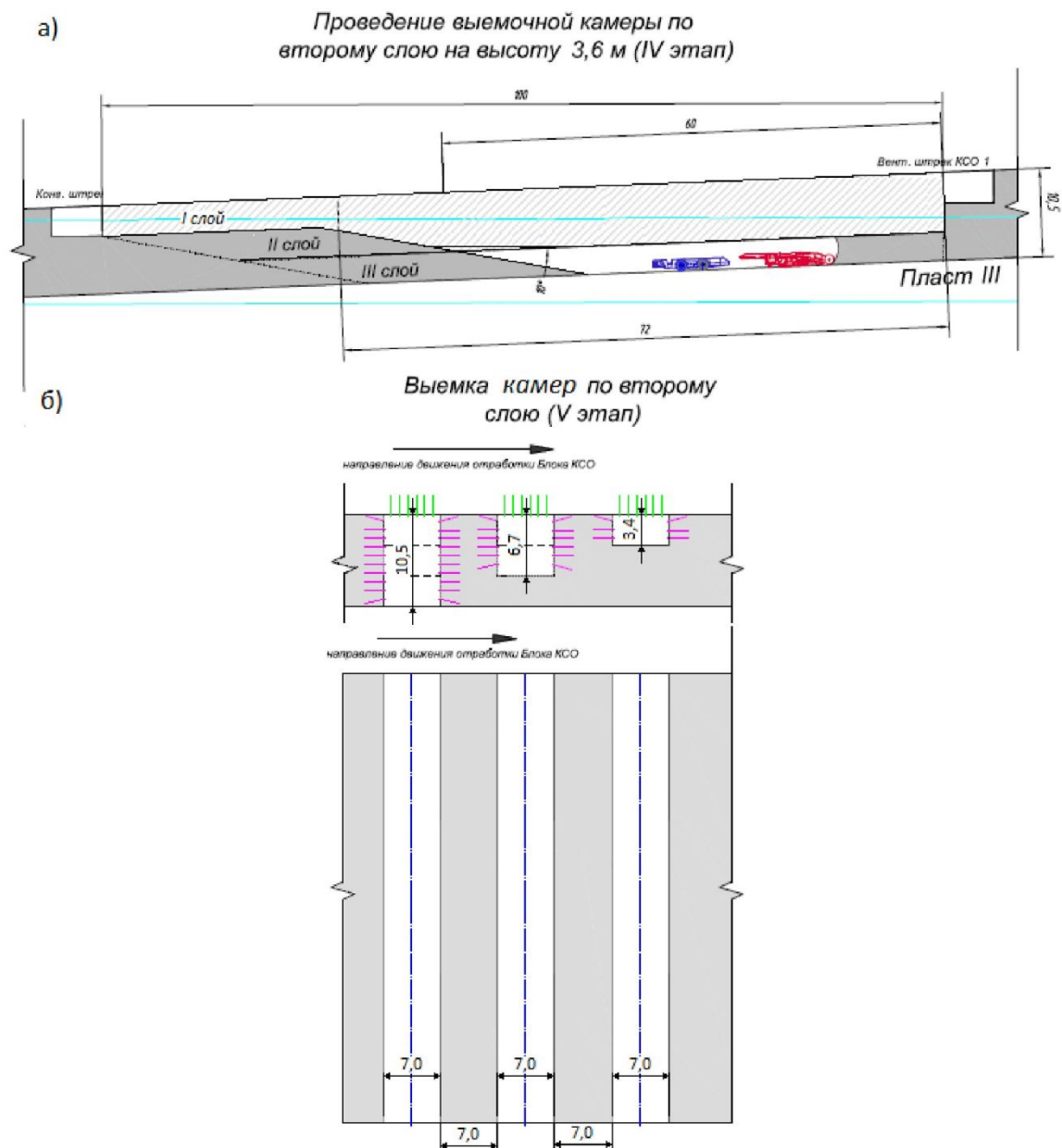


Рис. 3. Схема отработки пласта III камерной системой разработки, выемочные блоки КСО 1-1 и КСО 1-2, шахта ЗАО «Распадская-Коксовая»: а-вертикальное сечение по оси камер; б- поперечные разрезы и план камер

Результаты исследования и их обсуждение.

В процессе опытно-промышленного освоения технологии отработки мощного склонного к самовозгоранию и газодинамическим явлениям угольного пласта короткими забоями обоснованы следующие актуальные для горной науки и практики закономерности и рекомендации:

1) Коэффициент концентрации вертикальных напряжений в угольных целиках между камерами шириной 7 м по результатам численного моделирования изменяется в пределах 1,1- 1,4 (рис. 4), что при глубине разработки 370 м соответствует вертикальным напряжениям 10-13 МПа. Эти

напряжения превышают предел прочности угля при сжатии, уголь в целике деформировался и частично разрушился. Разрушение пород подтверждено результатами численного моделирования и измерений параметра F импульсного электромагнитного излучения массива горных пород по методике ВНИМИ, аппаратурой АЭШ-1. Вероятность возникновения горного удара в целиках между камерами весьма низкая, категория ОПАСНО не выявлена.

Устойчивость угольного целика шириной 21 м между блоками сохраняется (рис. 4), а вес пород кровли передаётся на этот целик и краевые участки пласта. В соответствии с формами эпюр

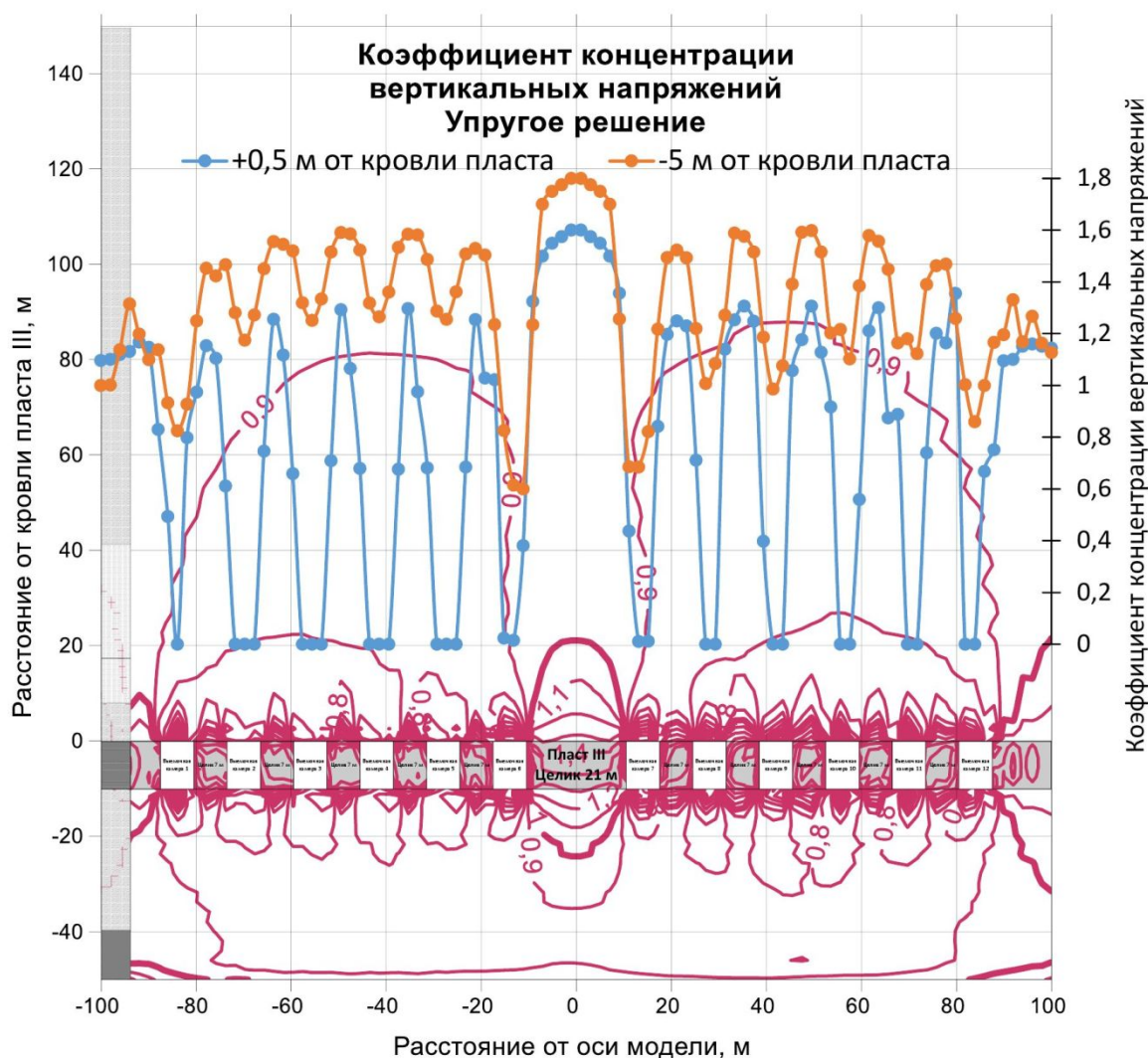


Рис. 4. Распределение коэффициента концентрации вертикальных напряжений в междуканерных целиках и угольном массиве пласта III, ЗАО «Распадская-Коксовая»

опорного горного давления на этих участках рекомендовано привести противоударные мероприятия посредством бурения разгрузочных скважин.

2) Согласно результатам численного моделирования было установлено (рис. 5), что при проведении камеры по верхнему слою возможно интенсивное пучение угля в почве 2 и 3 слоёв. Это связано с изменением отношения остаточной прочности угля и пород к исходной прочности, который принято называть коэффициентом дезинтеграции K_{dez} . При K_{dez} в пределах 0,5 - 0,7 (красные изолинии на рис. 5) уголь или порода на контуре выработки находятся в упруго-пластическом состоянии, возможно образование трещин, блоков; при $K_{dez} < 0,5$ уголь или порода находятся в запредельном состоянии, частично разрушены.

Характер деформирования угольного пласта, приведённый на рис. 5, подтвердился на практике при выемке угля в нижних слоях (рис. 6). После извлечения угля в заходке в почве выработки раз-

дался треск угля, появились трещины, пласт раскололся на блоки размерами 2x1,5x1 м, уголь поднялся вверх на высоту до 2 м. Концентрация метана превысила 2%. Объём угля, заполнившего выработку составил 780 м³.

Для профилактики подобного явления рекомендовано проводить разгрузку угольного массива посредством бурения разгрузочных скважин на неснижаемое расстояние впереди забоя 5 м.

В процессе изоляции отработанных камер был выявлен случай обрушения пород кровли в выработанном пространстве с выделением метана в действующие выработки.

Для оценки адекватности результатов численного моделирования НДС углеспородного массива при отработке короткими забоями мощного полового угольного пласта были проведены визуальные и инструментальные наблюдения в условиях шахты ЗАО «Распадская-Коксовая» в пределах выемочных участков по пласту III (Таблица).

Программа шахтных наблюдений включала

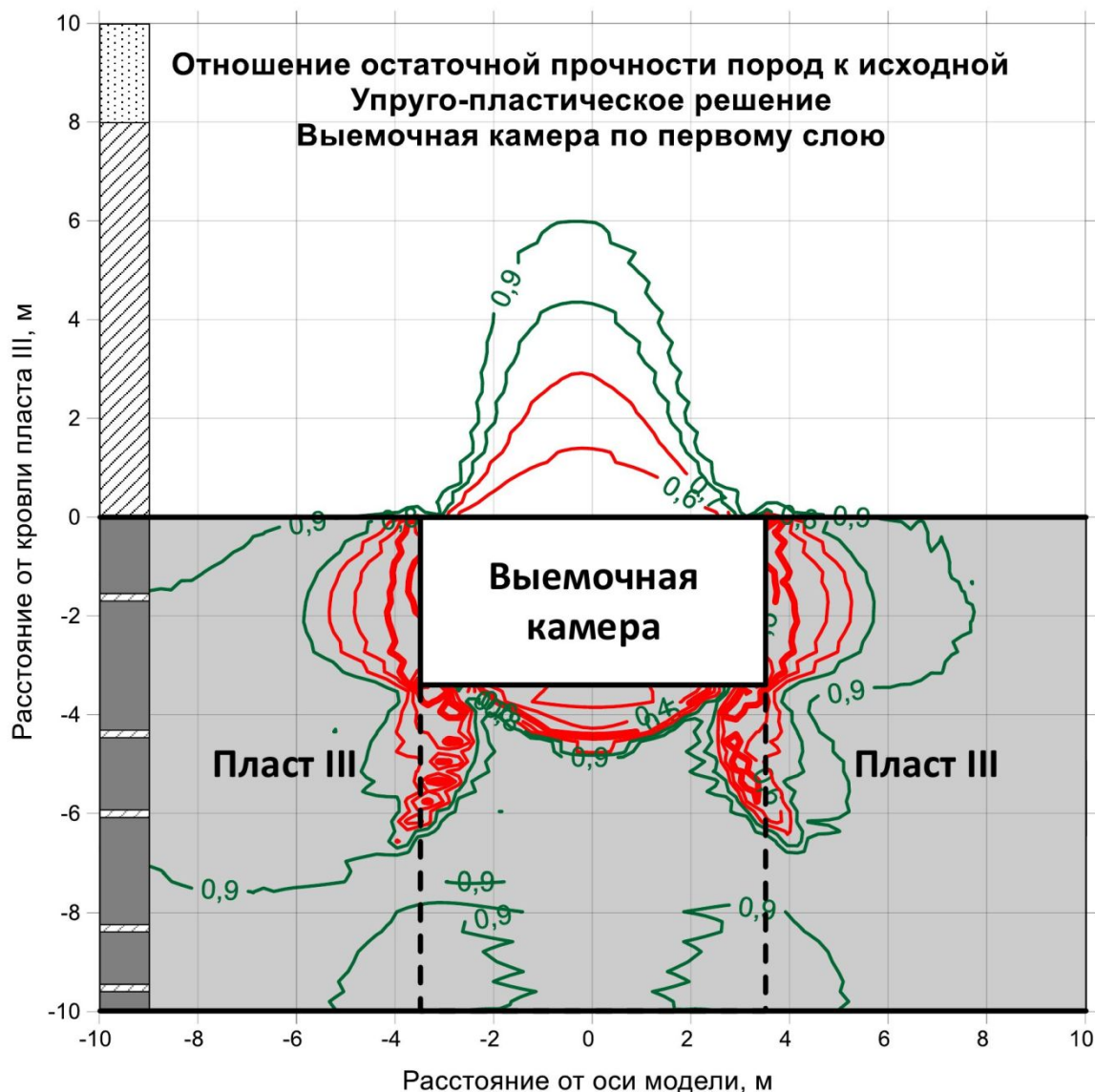


Рис. 5. Изолинии распределения отношения остаточной прочности угля и пород к исходной прочности ($K_{\text{дез}}$) после проведения первой камеры по верхнему слою

ежесуточный осмотр состояния горных выработок, угольных целиков, пород кровли и почвы. Все аномальные процессы и особенности проявления горного давления в виде техногенных трещин, отжима угля, разрушений угольных целиков, вывалов пород кровли и пучения пород почвы в камерах фиксировались в специальном журнале по результатам визуального осмотра и рулеточного замера. Инструментальные наблюдения включали определение категории удароопасности по выходу буровой мелочи при бурении шпуров и мониторинг состояния горного массива и прогноза горных ударов по Методическим указаниям ВНИМИ [6].

Проведено сравнение результатов численного моделирования и шахтных инструментально-визуальных наблюдений по следующим критериям: форма и размеры зон отжима угля с боков ка-

мер; смещения пород кровли и почвы камер; сравнение размеров зон дезинтеграции угля, полученных по результатам численного моделирования и измеренного параметра F импульсного электромагнитного излучения массива горных пород по методике ВНИМИ, аппаратурой АЭШ-1; качественная оценка вертикальных напряжений по выходу буровой мелочи при бурении шпуров и скважин; форма разрушения элементов анкерной крепи: прогибы верхняков, срывы гаек анкерных болтов.

Один из вариантов распределения отношения остаточной прочности к исходной, полученного по результатам численного моделирования, представлен на рис. 5.

Результаты количественного сравнения вычисленных МКЭ и измеренных в шахтных условиях геомеханических параметров приведены в

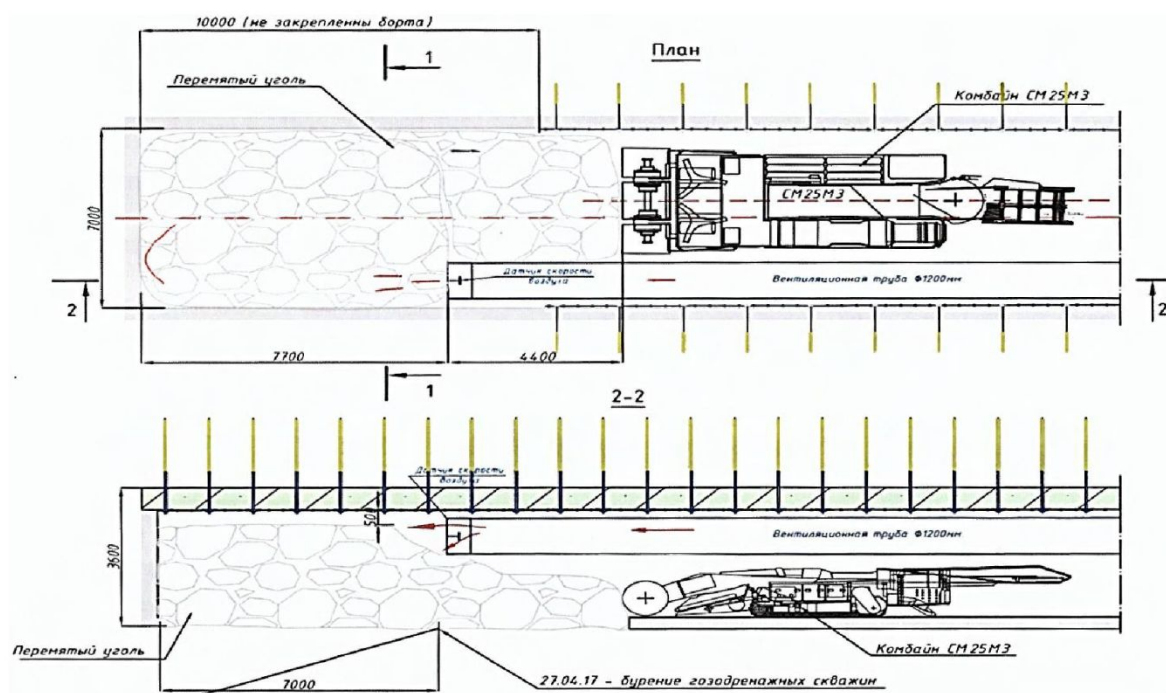


Рис. 6. Схема деформирования угля в выемочной камере верхнего слоя

Таблица 1 - Сравнение вычисленных и измеренных геомеханических параметров

Наименование параметра, размерность	Адрес участка наблюдений	Результаты расчёта МКЭ	Результаты шахтных измерений	
			величина	источник
Ширина зоны трещиноватости, запредельного состояния угля, м	Магистральный штрек пласта III	1-6	3-7	ВНИМИ, ЗАО «Распадская-Коксовая»
Ширина зона трещиноватости, запредельного состояния угля, м	Выемочная камера №2	3-7	3-4	ВНИМИ ЗАО «Распадская-Коксовая»
Конвергенция, кровля-почва, мм	Целик между камерами	60 - 85	48 - 78	ВостНИИ ЗАО «Распадская-Коксовая»
Конвергенция, бок – бок, мм	Целик между камерами	100 - 190	126 - 210	ВостНИИ, ЗАО «Распадская-Коксовая»

таблице 1.

Выводы

По результатам опытно-промышленных испытаний вариантов системы разработки короткими забоями мощного склонного к газодинамическим явлениям обоснованы следующие выводы и рекомендации:

1. Подтверждена практическая возможность отработки короткими забоями мощного склонного к газодинамическим явлениям угольного пласта на глубине более 200 м.

2. Выявлены следующие закономерности распределения напряжений и деформаций геомассива при отработке удароопасных пластов короткими забоями:

– разрушение угольного целика между соседними камерами происходит посредством перехода угля в запредельное состояние под влиянием вертикальных сжимающих и горизонтальных растягивающих напряжений. Критерием устойчивости целика является отношение вертикальных напряжений к пределу прочности угля при сжатии не более 0,7;

– влияние системы параллельных камер в пределах отдельного выемочного блока проявляется в виде неравномерного разрушения угольных целиков: площади зон разрушения угля в поперечных сечениях междукammerных целиков постепенно уменьшаются в направлении от середины к границам блока;

– над междуканальными целиками и камерами в отработываемом блоке происходит разгрузка пород непосредственной кровли, а вес пород основной кровли передаётся на угольный пласт на границах блока, поэтому рекомендуется при расчёте ширины целиков и камер учитывать вес непосредственной кровли, а вес пород основной кровли и налегающей породной толщи перераспределять на краевые участки пласта на границах блока.

2. Разработана система геомеханического обеспечения технологии отработки короткими забоями склонных к горным ударам мощных угольных пластов, которая включает поэтапное выполнение следующих работ: определение пара-

метров выемочного участка по результатам численного моделирования, проведение противоударных мероприятий, мониторинг геомеханических процессов, тестирование компьютерного программного обеспечения и корректировку документации на ведение горных работ.

3. Результаты исследований в виде рекомендаций включены в документацию на ведение горных работ в условиях пласта III ЗАО «Распадская-Коксовая», что подтверждено соответствующими протоколами и заключениями ВНИМИ и ВостНИИ. По результатам внедрения рекомендаций добыто 864 тыс. т угля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Предупреждение газодинамических явлений в угольных шахтах: Сборник документов. Серия 05. Выпуск 2./Колл. авт.–М.: ЗАО «НТЦ исследований проблем промышленной безопасности», 2011. – 304 с.
2. Шаклеин С.В. Подходы к обоснованию концепции развития минерально-сырьевой базы Кузнецкого угольного бассейна [Текст] / С.В. Шаклеин, М.В. Писарева // Рациональное освоение недр. - 2013. - №2. - С. 38-40.
3. Технология разработки запасов мощных пологих пластов с выпуском угля [Текст] / В.И. Клишин, И.А. Шундулиди, А.Ю. Ермаков, А.С. Соловьёв – Новосибирск: Наука, 2013. – 248с.
4. Шундулиди И.А. Интегрированные технологические системы многостадийной отработки запасов мощных угольных пластов / И.А. Шундулиди. - М.: Изд-во ООО «Международная академия связи», 2004. – 359 с.
5. Фрянов В.Н. Обоснование параметров технологии подготовки и отработки мощных пологих пластов / В.Н. Фрянов, А.В. Чубриков. Новокузнецк: СибГИУ, 2002. – 217 с.
6. Методические указания по созданию систем контроля состояния горного массива и прогноза горных ударов как элементов многофункциональной системы безопасности угольных шахт [Текст] / Д.В. Яковлев [и др.]. - СПб.: ВНИМИ, - 2012. - 83 с.
7. Артемьев В.Б., Коршунов Г.И., Логинов А.К., Шик В.М. Динамические формы проявления горного давления. – СПб.: Наука, 2009. – 347 с.
8. Силос В.Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке. – М.: ИНПРО-РЕС, 1995. – 228 с.
9. Канлыбаева Ж.М. Закономерности сдвижения горных пород в массиве/Ж.М. Канлыбаева. – Изд-во «Наука», 1968. – 108 с.
10. Черняк И.Л. Периодичность изменения напряженно-деформированного состояния массивов угля и пород впереди очистного забоя/ И.Л. Черняк, В.Е. Зайденварг// Горный журнал. Известия Высших учебных заведений. – 1993. №3.- С. 25-28.
11. Ройтер, М. Волнообразное распределение горного давления вдоль забоя лавы./ М. Ройтер, В. Курфюст, К. Майрховер, Ю. Векслер. // ФТПРПИ. - 2009, №2. - С. 38-44.
12. Якоби, О. Практика управления горным давлением. Пер. с нем. / О. Якоби. - М. :Недра, 1987. - 566 с.
13. Полевщиков, Г.Я. Влияние сдвижений прочных вмещающих пород на динамику метанообильности выемочного участка / Г.Я. Полевщиков, Н.Ю. Назаров // Горный: информационно-аналитический бюллетень. -М., 2001. - №5.- С.121-127.
14. Полевщиков, Г.Я. Влияние процессов разгрузки и сдвижений вмещающих пород на выделение метана из разрабатываемого пласта, [текст]/ Г.Я. Полевщиков, М.В. Шинкевич, Е.Н.Козырева, О.В. Брюзгина // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2008, №2.- С. 139-143

15. Газодинамическая активность угольных пластов и зональная дезинтеграция массива горных пород при проведении подготовительных выработок / Г.Я. Полевщиков, М.С. Плаксин // Нелинейные геомеханико-геодинамические процессы при отработке месторождений полезных ископаемых на больших глубинах: Труды 2-ой Российско-Китайской научной конференции. - Новосибирск: ИГД СО РАН, 2012. - С. 83-89.

REFERENCES

1. Preduprezhdenie gazodinamicheskikh javlenij v ugol'nyh shahtah: Sbornik dokumentov. Serija 05. Vypusk 2./Koll. avt.-M.: ZAO «NTC issledovanij problem promyshlennoj bezopasnosti», 2011. – 304 s.
2. Shaklein S.V. Podhody k obosnovaniju koncepcii razvitiya mineral'no-syr'evoj bazy Kuzneckogo ugol'nogo bassejna [Tekst] / S.V. Shaklein, M.V. Pisareva // Racional'noe osvoenie nedr. - 2013. - №2. - S. 38-40.
3. Tehnologija razrabotki zapasov moshhnyh pologih plastov s vypuskom uglja [Tekst] / V.I. Klishin, I.A. Shundulidi, A.Ju. Ermakov, A.S. Solov'jov – Novosibirsk: Nauka, 2013. – 248s.
4. Shundulidi I.A. Integrirovannye tehnologicheskie sistemy mnogostadijnoj otrabotki zapasov moshhnyh ugol'nyh plastov / I.A. Shundulidi. - M.: Izd-vo OOO «Mezhdunarodnaja akademija svjazi», 2004. – 359 s.
5. Frjanov V.N. Obosnovanie parametrov tehnologii podgotovki i otrabotki moshhnyh pologih plastov / V.N. Frjanov, A.V. Chubrikov. Novokuzneck: SibGIU, 2002. – 217 s.
6. Metodicheskie ukazaniya po sozdaniyu sistem kontrolja sostojanija gornogo massiva i prognoza gornyh udarov kak jelementov mnogofunkcional'noj sistemy bezopasnosti ugol'nyh shaht [Tekst] / D.V. Jakovlev [i dr.]. - SPb.: VNIMI, - 2012. - 83 s.
7. Artem'ev V.B., Korshunov G.I., Loginov A.K., Shik V.M. Dinamicheskie formy projavlenija gornogo davlenija. – SPb.: Nauka, 2009. – 347 s.
8. Silov V.B. Prinjatje strategicheskikh reshenij v nechetkoj obstanovke. – M.: INPRO-RES, 1995. – 228 s.
9. Kanlybaeva Zh.M. Zakonomernosti sdvizhenija gornyh porod v massive/Zh.M. Kanlybaeva. – Izd-vo «Nauka», 1968. – 108 s.
10. Chernjak I.L. Periodichnost' izmenenija naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija massivovuglja i porod vpered i ochistnogo zaboja/ I.L. Chernjak, V.E. Zajdenvarg// Gornyj zhurnal. Izvestija Vysshih uchebnyh zavedenij. – 1993. №3.- S. 25-28.
11. Rojter, M. Volnoobraznoe raspredelenie gornogo davlenija vdol' zaboja lavy./ M. Rojter, V. Kurfjust, K. Majrhover, Ju. Veksler. // FTPRPI. - 2009, №2. - S. 38-44.
12. Jakobi, O. Praktika upravlenij gornym davleniem. Per. s nem. / O. Jakobi. - M. :Nedra, 1987. -566 s.
13. Polevshnikov, G.Ja. Vlijanie sdvizhenij prochnyh vmeshhajushhih porod na dinamiku metanoobil'nosti vyemchnogo uchastka / G.Ja. Polevshnikov, N.Ju. Nazarov // Gornyj: informacionno-analiticheskij bjulleten'. - M., 2001. - №5.- S.121-127.
14. Polevshnikov, G.Ja. Vlijanie processov razgruzki i sdvizhenij vmeshhajushhih porod na vydelenie metana iz razrabatyvaemogo plasta, [tekst]/ G.Ja. Polevshnikov, M.V. Shinkevich, E.N.Kozyreva, O.V. Brjuzgina // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'. - 2008, №2.- S. 139-143
15. Gazodinamicheskaja aktivnost' ugol'nyh plastov i zonal'naja dezintegracija massiva gornyh porod pri provedenii podgotovitel'nyh vyrabotok / G.Ja. Polevshnikov, M.S. Plaksin // Nelinejnye geo-mehaniko-geodinamicheskie processy pri otrabotke mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh na bol'shih glubinah: Trudy 2-oj Rossijsko-Kitajskoj nauchnoj konferencii. - Novosibirsk: IGD SO RAN, 2012. -S. 83-89.

Поступило в редакцию 11.02.2018
Received 11.02.2018