УДК 622.822.34

О ПРОЕКТИРОВАНИИ ПОДЗЕМНОЙ ОТРАБОТКИ СВИТ ПОЛОГИХ ГАЗОНОСНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

О.И.КАЗАНИН, *д-р техн. наук, профессор, kazanin@spmi.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия

Приведен анализ требований нормативных документов, а также мирового опыта проектирования подземной отработки свит угольных пластов. Рассмотрены основные проблемы интенсивной отработки свит пологих газоносных пластов длинными столбами, методы определения параметров зон повышенного горного давления и степени взаимного влияния пластов. На примерах шахт Кузбасса и Печорского бассейна показано, что при проектировании отработки сближенных пластов выбор параметров технологических схем часто производится без учета взаимного влияния отработки, что приводит к существенному осложнению условий ведения горных работ и снижению технико-экономических показателей отработки. Действующие нормативные документы не позволяют в полной мере учесть комплексное влияние факторов при отработке свит пластов. На основании результатов натурных, лабораторных и численных исследований отмечено, что при отработке пластов длинными столбами рекомендации по взаимному расположению целиков на сближенных пластах, обеспечивающих эффективность и безопасность горных работ, могут существенно отличаться в случае склонности пластов к самовозгоранию, высокой газоносности пластов, влиянии работ на дневную поверхность, сложных условий поддержания выработок. Показана важность наличия на стадии проектирования информации о напряженно-деформированном состоянии массива и его изменениях в процессе отработки свит пластов. Отмечена необходимость корректировки нормативных документов с целью более детального определения формы, размеров и местоположения зон повышенного горного давления, уровня напряжений в этих зонах. Разработан комплекс рекомендаций по эффективной и безопасной отработке свит пластов.

***Ключевые слова*:** угольный пласт, свита, проектирование, горное давление, лава, устойчивость выработок, рекомендации.

Снижение внутреннего спроса и неблагоприятная конъюнктура мирового рынка угля заставляют угледобывающие компании искать пути снижения затрат и повышения производительности. Одним из основных направлений обеспечения конкурентоспособности угольных шахт является повышение уровня концентрации горных работ, рост нагрузок на очистные забои, переход все большего количества предприятий на структуру «шахта-лава». Так, за период с 2000 по 2015 годы среднесуточная нагрузка на комплексно-механизированный очистной забой (КМЗ) увеличилась более чем в три раза (с 1324 до 4683 т/сут) при сокращении количества КМЗ от 170 до 59 [5]. Рекордная производительность КМЗ уже превысила 1 млн.т в месяц (шахта «Талдинская-Западная»), а стремление к дальнейшему увеличению производительности характерно для всех угледобывающих компаний.

Повышение производительности очистных забоев достигается, главным образом, за счет применения современных энерговооруженных механизированных комплексов в благоприятных горно-геологических условиях (пологие пласты средней мощности и мощные) для большинства КМЗ. При этом технический потенциал современного оборудования, как правило, используется неполностью, а нагрузки на КМЗ ограничиваются газовым фактором, т.е. возможностями управления метановыделением на выемочных участках средствами вентиляции, дегазации и изолированного отвода метановоздушной смеси (МВС). Более половины от общего объема подземной угледобычи России поступает из шахт III категории и сверхкатегорных и, как показывает анализ сырьевой базы действующих и проектируемых шахт, подобная ситуация сохранится в течение ближайших десятилетий.

Наибольшее распространение на шахтах РФ получили системы разработки длинными столбами с подготовкой выемочных участков спаренными выработками, разделенными неизвлекаемыми ленточными целиками. Целики формируют зоны повышенного горного давления (ПГД), которые могут осложнять ведение горных работ на сближенных пластах. Поскольку угленосная толща в пределах горных отводов шахт может включать свиты из десятков угольных пластов как рабочей, так и нерабочей мощности, вопросы отработки свит с учетом взаимного влияния сближенных пластов являются актуальными для большинства угольных шахт не только в России, но и за рубежом [7-9]. Даже при реализации структуры «шахта-лава» вопросы ведения горных работ в зонах ПГД становятся актуальными при доработке запасов по одному пласту и переходе к отработке смежного пласта в свите.

Факторами, осложняющими ведение работ в зонах ПГД, являются опасность формирования горных ударов (внезапных выбросов), нарушения устойчивости выработок и их сопряжений с лавой, вывалообразование и отжим угля в призабойном пространстве лав. Негативное влияние факторов может быть комплексным, наиболее сложные условия формируются при интенсивной отработке газоносных пластов, склонных к самовозгоранию. Обеспечение высоких нагрузок на очистные забои при требуемом уровне безопасности горных работ в таких условиях, особенно при реализации структуры «шахта-лава», предъявляет особые требования к качеству проектов отработки пластов.

Вопросы проектирования отработки пластов в зонах ПГД регламентируются различными отраслевыми нормативными документами [2, 3, 6]. Вместе с тем, общих требований и рекомендаций по проектированию с учетом комплексного влияния факторов (ПГД, удароопасность, высокая газоносность, склонность к самовозгоранию и пр.) в нормативной базе не представлено [1].

При отработке свит пластов возможны различные сочетания применяемых технологий и систем разработки, характеризующихся различным распространением зон ПГД, их форм и размеров, степенью влияния на эффективность и безопасность горных работ. В табл.1 показано многообразие вариантов отработки двух пологих пластов в шахтном поле, отличающихся очередностью отработки пластов и применяемыми системами разработки. При наличии в шахтном поле трех и более пластов количество возможных вариантов многократно увеличивается.

Таблица 1

Варианты отработки двух пологих пластов в шахтном поле

Варианты	Характеристика варианта	Наименование пластов	
		Верхний	Нижний
1	Очередность отработки Система разработки	1 Длинными забоями	2 Длинными забоями
2	Очередность отработки Система разработки	2 Длинными забоями	1 Длинными забоями
3	Очередность отработки Система разработки	1 Длинными забоями	2 Короткими забоями
4	Очередность отработки Система разработки	2 Длинными забоями	1 Короткими забоями
5	Очередность отработки Система разработки	1 Короткими забоями	2 Длинными забоями
6	Очередность отработки Система разработки	2 Короткими забоями	1 Длинными забоями
7	Очередность отработки Система разработки	1 Короткими забоями	2 Короткими забоями
8	Очередность отработки Система разработки	2 Короткими забоями	1 Короткими забоями

Для шахт России наиболее характерны варианты 1 и 2. Но и в этом случае возможно множество ситуаций в зависимости от подготовки выемочных участков (бесцеликовая или многоштрековая), ориентации выемочных участков, параметров лав и целиков. Эти вопросы на стадии проектирования зачастую решаются без учета взаимного влияния горных работ по пластам. Анализ планов горных работ шахт Кузнецкого и Печорского бассейнов показал, что в настоящее время целики на сближенных пластах оставляются во многих случаях бессистемно (рис.1, *а*, *б*), различных геометрических форм и размеров (рис.1, *в*). В ряде случаев сближенные пласты отрабатываются разными шахтами (рис.1, *а*), а разрыв по времени между ведением горных работ на пластах может составлять десять и более лет.

Среди основных вопросов, решаемых при проектировании отработки свит пластов длинными столбами, можно выделить:

- обоснование очередности отработки пластов в свите;
- обоснование параметров подготовки выемочных участков;
- обоснование взаимного расположения целиков на сближенных пластах.

Для решения данных вопросов необходимо иметь четкое представление о форме и параметрах зон ПГД и зон разгрузки, уровне напряжений внутри зон на уровне сближенного пласта. При отработке газоносных пластов, склонных к самовозгоранию, необходимо знать высоту распространения трещин для оценки возможности формирования аэродинамической связи между выработанными пространствами сближенных пластов, так как при наличии такой связи возможно формирование очагов самовозгорания.

Представленные в отраслевых нормативных документах методики расчета параметров зон ПГД [2, 6] позволяют определить лишь границы зон без указания уровня напряжений. В указаниях [6] выделяются три зоны: повышенной опасности (ЗПО), опасная (ОЗ), прогнозная (ПЗ). При этом наиболее сложные условия работы очистного забоя формируются в ЗПО. Размеры зон определяются с учетом вынимаемой мощности пласта, способа управления кровлей, глубины ведения работ, содержания песчаников в породах междупластья.

В зарубежной технической литературе степень взаимного влияния пластов определяется с учетом соотношения глубины ведения работ H и мощности междупластья h. В работе [7] именно эти факторы среди 15 выделенных горно-геологических факторов названы критическими с точки зрения взаимного влияния пластов. Отмечается, что если соотношение H/h менее 7, то взаимное воздействие незначительное, а если превышает 16, то экстремальное. Предложены эмпирические формулы расчета размеров зон влияния, а также так называемого рейтинга повреждений (damage rating), при определении которого учитываются также коэффициент извлечения пласта и время между отработкой пластов. Значения рейтинга колеблются от 1,12 (нет повреждений) до 3,32 (отработка слишком опасна и потребует значительных затрат на управление состоянием массива).

Под руководством автора на шахтах Кузбасса проводились исследования влияния параметров технологических схем отработки свит пологих газоносных пластов на эффективность и безопасность горных работ. Во всех случаях отработка пластов производилась длинными столбами с подготовкой выемочных участков спаренными выработками, разделенными неизвлекаемыми целиками угля. При этом рассматривались ситуации с точки зрения минимизации вредного влияния горных работ на дневную поверхность (шахта «Красноярская», ныне – шахта им. А.Д.Рубана); возможность формирования аэродинамической связи между выработанными пространствами сближенных пластов, а также поверхностью (шахта «Алардинская»); обеспечение устойчивости выемочных выработок и кровли в призабойном пространстве и на сопряжениях лав (шахта им. С.М.Кирова, шахта «Комсомолец»). Целью исследований была разработка комплекса рекомендаций по обеспечению эффективности и безопасности отработки пластов в условиях их взаимного влияния.

Исследования включали натурные наблюдения за состоянием земной поверхности, наблюдения за показаниями датчиков аппаратуры автоматической газовой защиты, наблюдения

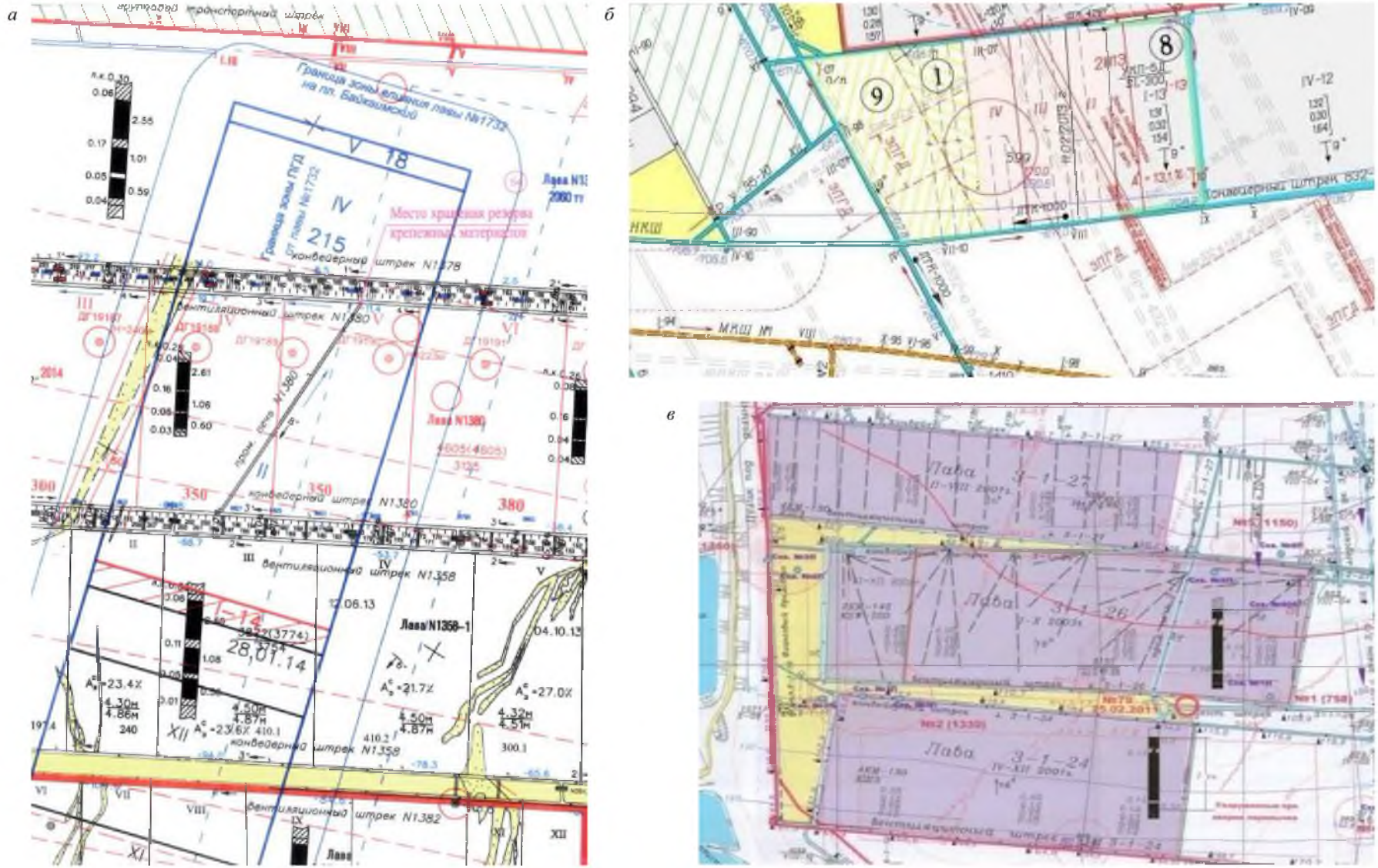


Рис.1. Расположение выемочных участков по пластам: *а* – «Бреевский» и «Байкаимский» (шахты «Комсомолец» и «7 Ноября»); *б* – «Тройной» и «Четвертый» (шахта «Воркутинская»); *в* – пласт 3-3а (шахта «Алардинская»)

за смещением пород контура выработок. Были выполнены расчеты по нормативным методикам параметров зон сдвижения, высоты зоны водопроводящих трещин, параметров зон ПГД при различных значениях длин лав, разном взаимном расположении целиков и, соответственно, зон ПГД на сближенных пластах.

Кроме того, проводились численные исследования напряженно-деформированного состояния массива и его изменений при отработке свит пластов. С помощью численных исследований уточнялись параметры зон ПГД, позиционировались участки возможного формирования трещин, обеспечивающих аэродинамическую связь между выработанными пространствами пластов, определялись параметры зон предельного состояния массива вокруг выемочных выработок. При исследовании параметров зон сдвижения применялось физическое моделирование на моделях из эквивалентных материалов.

Как показали исследования, в различных горно-геологических и горно-технических условиях рекомендации по взаимному расположению ленточных целиков на сближенных пластах могут существенно отличаться. Так, с точки зрения минимизации воздействия на земную поверхность предпочтительным является расположение целиков на сближенных пластах в шахматном порядке. В условиях шахты им. А.Д.Рубана такое расположение позволяет при определенных параметрах обеспечить существенное снижение раскрытия или полное закрытие трещин на поверхности, образованных при первоочередной отработке пласта «Байкаимский» по отношению к пласту «Полысаевский».

На рис.2 и 3 приведены схема отработки пластов, зона физического моделирования, а также показанное на модели развитие и смыкание трещин на поверхности при последовательной отработке выемочных участков по пластам.

Для физического моделирования был выбран участок массива, нижней границей которого была граница между наносами и коренными породами, а верхней – земная поверхность. Сдвижение на уровне границы определялись по результатам численных исследований НДС массива.

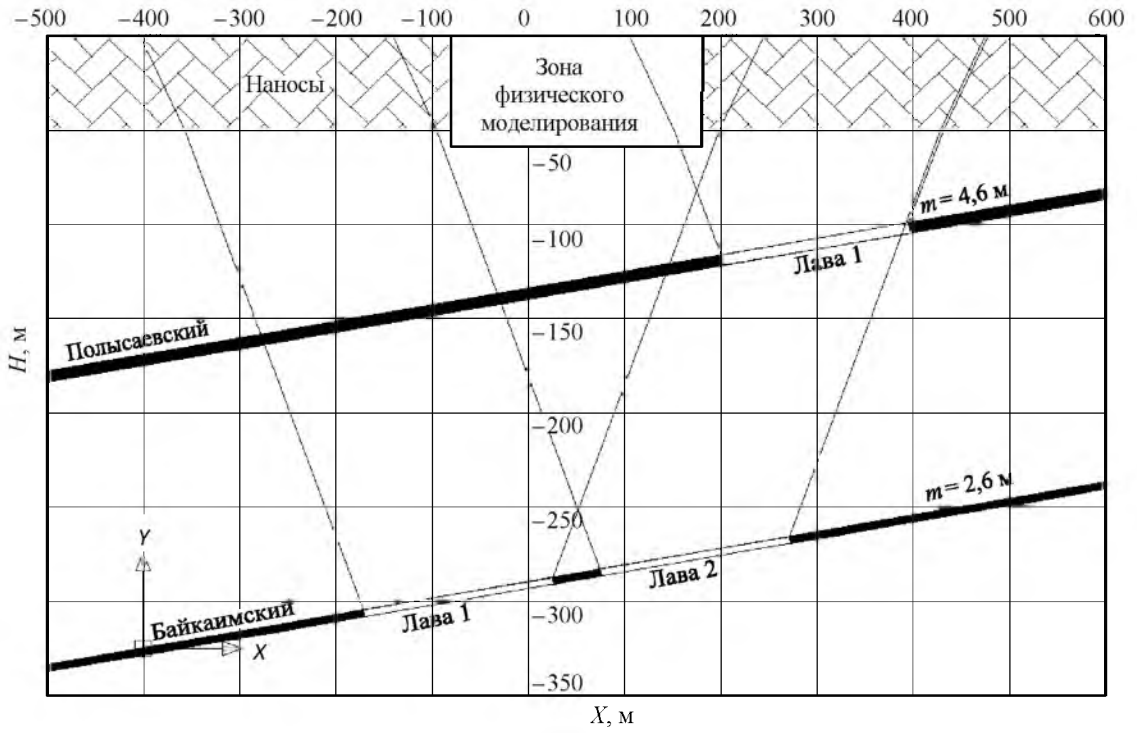


Рис.2. Расположение выемочных участков по пластам на вертикальном разрезе в поле шахты им. А.Д.Рубана

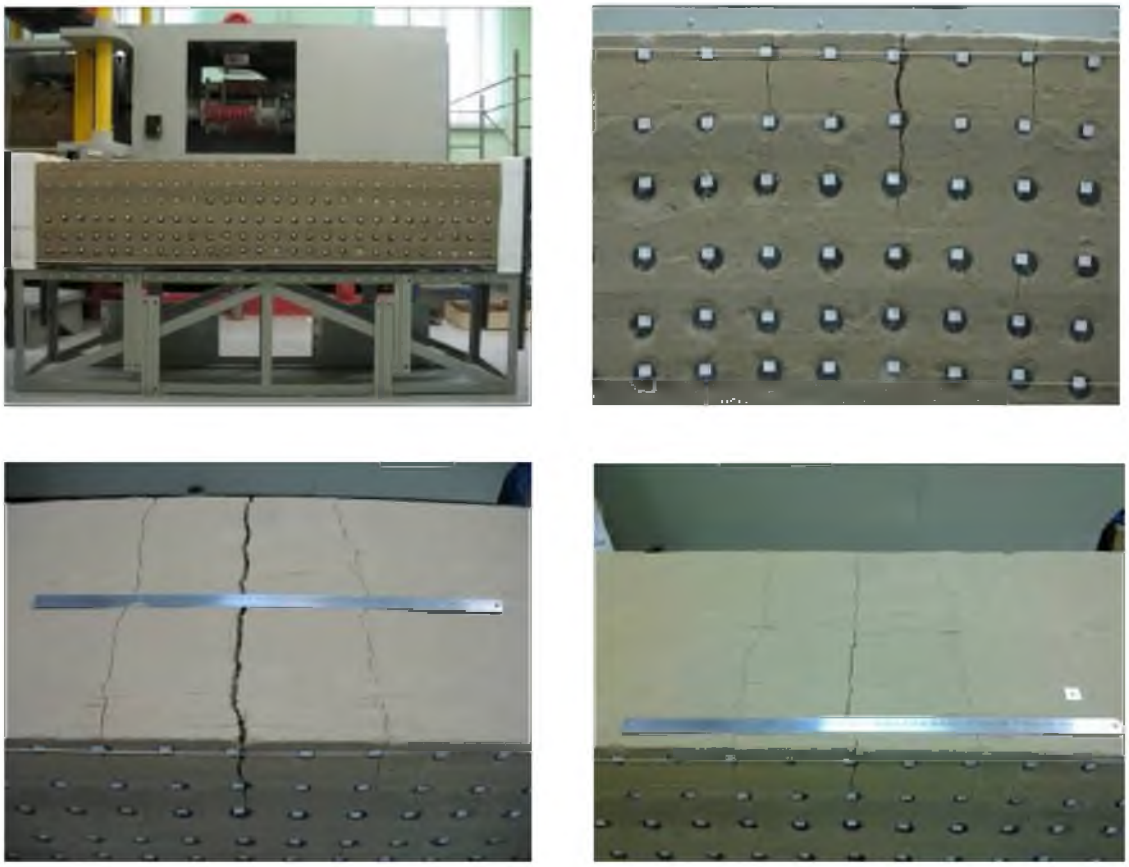


Рис.3. Развитие и смыкание трещин на модели при последовательной отработке

В условиях шахты «Алардинская» с точки зрения минимизации возможного распространения аэродинамической связи между выработанными пространствами соседних выемочных выемочных участков и формирования очагов самовозгорания угля наиболее целесообразным является соосное расположение ленточных целиков на сближенных пластах. Соосно расположенные целики формируют зоны ПГД, в которых существенно снижается проницаемость массива, что является своеобразным барьером для неуправляемых перетоков воздуха между выработанными пространствами.

Для шахты им. С.М.Кирова рассматривалась ситуация, когда целики на сближенных пластах располагались параллельно друг другу, при этом для трех выемочных столбов выемочные выработки по пласту «Поленовский» располагались в зоне и на границе зоны ПГД от целиков по ранее отработанному пласту «Болдыревский», для одного выемочного участка выемочные выработки были вне зоны ПГД, а зона ПГД находилась непосредственно над лавой (рис.4). Как показали натурные наблюдения и численные исследования [9], расположение выемочных выработок в зонах ПГД приводит к их разрушению при воздействии опорного давления лавы, что для выемочных участков 2592 и 2593 привело к необходимости проведения третьей параллельной выработки вне зон ПГД, т.е. дополнительным затратам и потерям угля в целиках.

При расположении выработок вне зон ПГД обеспечивалось их устойчивое состояние, а средняя нагрузка на очистной забой соответствовала уровню нагрузок вне зон ПГД. Расположение зон ПГД над очистным забоем даже в зоне повышенной опасности в соответствии с [6] при применении современных механизированных крепей повышенного сопротивления, передвигаемых с активным подпором, не оказывает существенного влияния на показатели работы лав.

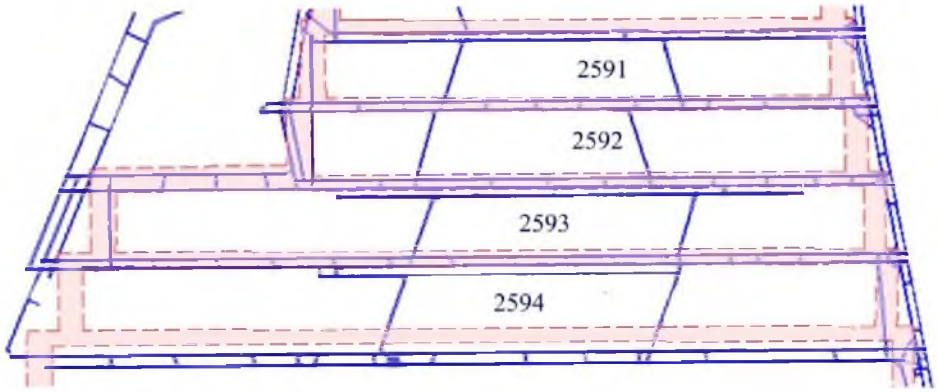


Рис.4. Расположение выработок по пласту «Поленовский» и зон ПГД в поле шахты им. С.М.Кирова

Во всех случаях рассматривались возможности обеспечения максимальной нагрузки на очистные забои при минимизации ущерба от нарушения земной поверхности, снижения вероятности формирования аэродинамической связи между выработанными пространствами, снижения потерь угля в целиках, а также затрат на поддержание выемочных выработок.

Обобщая результаты проведенных исследований, можно сделать следующие выводы:

• Наличие зон ПГД в пределах выемочных участков при отработке пологих газоносных пластов длинными забоями может существенно осложнить ведение горных работ и привести к снижению технико-экономических показателей работы очистных забоев.

• Нормативные методики позволяют построить границы зон ПГД и зон разгрузки, что недостаточно для обоснования параметров технологических схем при интенсивной отработке пластов, особенно в режиме «шахта-лава».

• Для обоснования параметров технологических схем отработки пластов, решения вопросов взаимного расположения выработок и целиков на сближенных пластах необходима численная оценка НДС массива и его изменений по мере развития горных работ.

• Критерием принятия проектных решений при отработке свит пластов в условиях обострившейся конкуренции является обеспечение полного использования технического потенциала современного оборудования при обеспечении безопасности горных работ, а также минимизации ущерба от потерь угля, затрат на проведение и поддержание выемочных выработок, а также рекультивацию поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Зубов В.П.* Влияние дизъюнктивных геологических нарушений на параметры защищенных зон при разработке сближенных пластов / В.П.Зубов, Е.Р.Ковальский, А.В.Никифоров / Записки Горного института, 2014. Том 207. С.22-25.

2. Инструкция по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих угольные пласты, склонные к горным ударам. РД 05-328-99. М.: Госгортехнадзор России, 2004.

3. Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах. М.: Ростехнадзор, 2013. 147 с.

4. Обоснование параметров подготовки выемочных участков при отработке свит пластов длинными забоями / О.И.Казанин, А.А.Сидоренко, А.Ю.Ермаков, О.В.Ванякин / ГИАБ. Специальный выпуск. 2014. № 10. 12 с.

5. *Тарасанов И.Г.* Итоги работы угольной промышленности России за январь-март 2015 года // Уголь. 2015. № 6. С.32-46.

6. Указания по управлению горным давлением в очистных забоях под (над) целиками и краевыми частями при разработке свиты угольных пластов мощностью до 3,5 м с углом падения до 35° / ВНИМИ. Л., 1984. 62 с.

7. *Syd S. Peng.* Coal Mine Ground Control. West Virginia University, 2008. 750 p.

8. *Tati B.B.* Multi-seam coal mining // The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. Vol.111. April 2011. P.231-242.

9. *Thyrock Klaus*, *Derely Yilmaz*. Ground control for multiple seam mining in German coal mines / 22nd World Mining Congress & Expo. Istanbul, 2011. Vol.1. P.441-444.

REFERENCES

1. *Zubov V.P., Koval'skij E.R., Nikiforov A.V.* Vlijanie diz'junktivnyh geologicheskih narushenij na parametry zashhishhennyh zon pri razrabotke sblizhennyh plastov (*Influence of disjunctive dislocations on parameters of secure zones on flat-lying adjacent coal seams*). Zapiski Gornogo instituta. 2014. Vol.207, p.22-25.

2. Instrukcija po bezopasnomu vedeniju gornyh rabot na shahtah, razrabatyvajushhih ugol'nye plasty, sklonnye k gornym udaram. RD 05-328-99 (*Instruction for safely mining development at mines, extracting coal seams, liable to rock bursts. RD 05-328-99*). Moscow: Gosgortehnadzor Rossii, 2004.

3. Instrukcija po raschetu i primeneniju ankernoj krepi na ugol'nyh shahtah (*Instruction for the calculation and application of a bolt support in coal mines*). Moscow: Rostehnadzor. 2013, p.147.

4. *Kazanin O.I., Sidorenko A.A., Ermakov A.Y., Vanjakin O.V.* Obosnovanie parametrov podgotovki vyemochnyh uchastkov pri otrabotke svit plastov dlinnymi zabojami (*Justification Of Longwall Panels Parameters For Multiple Seam Longwall Mining*). GIAB, Special'nyj vypusk. 2014. N 10, p.12.

5. *Tarazanov I.G.* Itogi raboty ugol'noj promyshlennosti Rossii za janvar'-mart 2015 goda (*Russian's coal industry performance for January-March, 2015*). Ugol', 2015. N 6, p.32-46.

6. Ukazanija po upravleniju gornym davleniem v ochistnyh zabojah pod (nad) celikami i kraevymi chastjami pri razrabotke svity ugol'nyh plastov moshhnost'ju do 3,5 m s uglom padenija do 35° (*Instructions for ground control in longwalls under (above) pillars and coal seam ribs during the multi-seam mining of seams with thickness up to 3,5 m and inclination up to 35°*). VNIMI. Leningrad, 1984. p.62.

7. *Syd S. Peng.* Coal Mine Ground Control. West Virginia University, 2008, p.750.

8. *Tati B.B.* Multi-seam coal mining. The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. Vol.111. April 2011, p.231-242.

9. *Thyrock Klaus, Derely Yilmaz.* Ground control for multiple seam mining in German coal mines. 22nd World Mining Congress & Expo. Istanbul, 2011. Vol.1, p.441-444.

ON THE DESIGN FEATURES OF UNDERGROUND MULTIPLE GASSY COAL SEAM MINING

O.I.KAZANIN, *Dr. of Engineering Sciences, Professor, kazanin@spmi.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), St Petersburg, Russia

The analysis of the industry regulatory requirements and the world design experience of underground multiple coal seam mining is provided. The main problems of intensive longwall mining of multiple flat gassy coal seams as well as methods for determination of high rock pressure zone parameters and seams interaction are considered. The examples of a number of mines in the Kuzbass and Pechora coal basins show that the design of multiple seam mining and the choice of longwall panel parameters were often made without taking into consideration influence of surrounded seams that leads to essential complication of conditions for mining operations and decreases the technical and economic indicators of mining. The existing industry regulations do not allow considering complex influence of factors in multiple coal seams mining fully. On the basis of field, laboratory, and numeric research results it is noted that recommendations for pillar positioning in contiguous seams ensuring efficiency and safety of multiple seam longwall mining can significantly differ in case of liability of coal seams to spontaneous combustion, high natural gas content, influence of multiple seam mining onto daily surface, and difficult conditions of entries maintenance. The importance of having information on the stress-strain condition of the rock mass at a design stage and its changes in the process of multiple seam mining is shown. The need for industry regulations updating for the purpose of a more detailed definition of a form, size and a location of high rock pressure zones as well as stress parameters in these zones is noted. A set of recommendations for effective and safe multiple seam mining is developed.

***Key words*:** coal seam, multiple seam, design, rock pressure, longwall, entries` stability, recommendations.