

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ГОРНОТЕХНИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ПРИ ОТРАБОТКЕ ПЛАСТОВ КОМПЛЕКСОМ КГРП

Александр Алексеевич Неверов

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 54, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории подземной разработки рудных месторождений, e-mail: nnn_aa@mail.ru

Александр Михайлович Никольский

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 54, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории подземной разработки угольных месторождений, e-mail: nikosya@mail.ru

Тамара Алексеевна Цымбалюк

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 54, ведущий технолог лаборатории открытых горных работ, e-mail: orsa_nsk@list.ru

Одним из наиболее эффективных способов снижения потерь угля при постановке разреза на предельный контур является технология выбуривания запасов, сосредоточенных за пределами технических границ (в бортах) с использованием комплексов глубокой разработки пластов (КГРП). За счет минимальных капитальных затрат и повторного использования существующей горнотехнической инфраструктуры данный способ характеризуется высокой эффективностью. Однако, существенным ограничителем безопасного его применения является нарушение горного массива.

В горной практике основной областью применения комплексов КГРП являются массивы пород бортов разрезов, находящихся в зоне затухающей трещиноватости. В связи с чем, основной целью данной статьи является оценка степени влияния нарушения массива пород на устойчивость борта разреза и очистных выработок (камеры + целики).

Решение поставленной цели достигается использованием численного конечно-элементного моделирования геомеханической обстановки для типовых условий угольного разреза.

Новизна исследования состоит в более полном комплексном учете при выполнении решений литологии массива, его нарушения и деформационно-прочностных свойств, параметров природного исходного поля напряжений и конструктивных особенностей технологии выемки с формированием горнотехнической конструкции.

Ключевые слова: массив пород, разрез, пласт, нарушение, целик, камера, устойчивость.

GEOMECHANICAL JUSTIFYING OF MINE TECHNIGALL SITUATION WHEN SEAM DEVELOPMENT IS CARRIED OUT BY KGRP COMPLEX

Alexander A. Neverov

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, Ph. D., Leading Researcher, Underground Ore Deposit Development Laboratory, e-mail: nnn_aa@mail.ru

Alexander M. Hikolsky

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, Ph. D., Senior Researcher, Underground Coal Deposit Development Laboratory, e-mail: nikosya@mail.ru

Tamara A. Tsymbalyuk

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, Lead Process Engineer, Laboratory of Open Mining, e-mail: orsa_nsk@list.ru

One of the most effective methods when coal strip mine is entered into limiting contour is technology of drilling out of reserves located beyond technical boundaries (in sides) using complexes of deep seam development (KGRP). Due to minimal capital costs and reusing mine technical infrastructure, the method is described with high efficiency. However, the application is significantly limited due to broken condition of solid.

In mining engineering, the main application area of KGRP complexes is side solids of coal strip mines, which are located in the zones of dumping rock jointing. Therefore, the objective of the paper is estimation of influence rate of solid broken condition on stability of coal strip mine side and actual mining (rooms and pillars).

Solution of the objective is gained by using numerical finite-element simulation of geomechanical situation for typical conditions of coal strip mines.

Investigation novelty consist in more complex consideration when solution of solid lithology is carried out, its broken condition, strain-strength properties, parameters of natural initial stress field and constructive features of extraction technology with forming of mine technical construction.

Key words: solid, coal strip mine, seam, broken condition, pillar, room, stability.

Введение

Разработка угольных месторождений открытым способом имеет существенные преимущества над подземной добычей как в вопросах безопасности, так и производительности извлечения [1-6]. Однако последнее относится к неглубоким разработкам.

Основным ограничивающим фактором на разрезах является рост себестоимости выемки угля по мере понижения горизонта горных работ, вследствие увеличения объемов вскрыши. Как правило, при достижении предельного значения коэффициента вскрыши, открытый способ становится экономически нецелесообразным, и дальнейшая выемка угля на разрезах прекращается. При этом в бортах разреза остаются значительные объемы неизвлеченных запасов угля. В этой связи, поиск и разработка технических решений по повышению полноты выемки запасов являются весьма актуальными и значимыми задачами.

Одним, по сути единственным, нашедшем эффективное применение на разрезах, поставленных на предельный контур с имеющейся горнотехнической инфраструктурой, является способ, предусматривающий технологию выбурирования угольных пластов с использованием комплексов их глубокой разработки КГРП [7-9].

Областью устойчивого освоения комплексов КГРП на существующих разрезах, как показывает практика, являются, в основном, массивы пород, находящиеся в зоне затухающей трещиноватости [10-14]. Однако, в условиях месторождений с отсутствием явно выраженной принадлежности горного массива к степени нарушенности, предприятия сталкиваются с проблемами надежной и качественной обоснованности безаварийной эксплуатации комплекса КГРП.

С учетом отмеченного, основной целью исследований явилась оценка степени влияния нарушенности массива пород на устойчивость борта разреза и очистных выработок (камеры + целики).

Способ разработки пластов угля и метод исследований

По своей сущности, технология добычи угля с применением комплексов КГРП является аналогом подземной камерно-столбовой системы разработки (рис. 1). В отличие от классических принципов она предусматривает предварительную подготовку фронта работ путем вскрытия угольного пласта в борту открытой горной выработки, фактически обеспечивая к нему доступ исполнительного органа выемочной машины. При этом, пульт управления, силовые агрегаты, гидравлика и другие механизмы комплекса остаются на поверхности [15-18].



Рис. 1. Технология отработки угольных пластов комплексом КГРП:

1 – комплекс КГРП; 2 – борт угольного разреза (вмещающий массив); 3 – угольный пласт; 4 – межкамерный целик; 5 – камера; 6 – межблочный целик

Комплексы КГРП по сравнению с другими технологиями, а именно механической, гидромониторной, буровой, бурошнековой имеют ряд преимуществ: высокий уровень безопасности работ и производительности труда, низкие эксплуатационные затраты, минимальные сроки ввода месторождения в эксплуатацию и окупаемости вложений.

Так, конечно-элементным моделированием (МКЭ) напряженно-деформированного состояния (НДС) массива пород дана оценка геомеханической обстановки для типовых условий одного из действующих угольных разрезов с выемкой пласта в один слой (вынимаемая мощность 3 м) (рис. 2). В соответствии с условиями эксплуатации месторождения к рассмотрению принималась горнотехническая ситуация на удалении в глубь массива на 130 м от предельного контура разреза.



Рис. 2. Рассматриваемая типовая горнотехническая ситуация при отработке свиты пластов комплексом КГРП

В численных решениях горные породы моделировались с учетом их нарушенности. Последняя оценивалась снижением упругих и прочностных свойств пород в зоне трещиноватости (моделирование проводилось с использованием эффективного модуля упругости), т.е. реальный трещиноватый массив заменялся эквивалентной по деформируемости сплошной средой.

Определение устойчивости горных пород в элементах рассматриваемой горнотехнической ситуации осуществлялось [19-23]: по теории наибольших нормальных растягивающих напряжений – $|\sigma_3| \leq K_c \sigma_p$ (где σ_3 – минимальные растягивающие главные напряжения, полученные из упругого решения, МПа; K_c – коэффициент структурного ослабления; σ_p – предел прочности породы на растяжение, МПа); Кулона-Мора – $2C \cos \phi + (\sigma_1 + \sigma_3) \sin \phi \geq (\sigma_1 - \sigma_3)$ (где C – сцепление, МПа; ϕ – угол внутреннего трения, град; σ_1 и σ_3 – соответственно максимальные и минимальные главные напряжения); а также путем сравнения интенсивности главных напряжений с предельной характеристикой породы на сжатие – $\sigma_1 - \sigma_3 \leq \sigma_{сж}$ (где $\sigma_{сж}$ – средняя прочность пород).

Проведенный комплексный анализ исходной информации в части геологических данных и сложившейся горнотехнической ситуации, а также конструктивных особенностей и требований безопасности ведения очистных работ обусловил проработку 2-х сценариев развития добычи:

1-сценарий – рассмотрение ситуации, предусматривающей совместную «работу» межкамерных и межблочных целиков.

2-сценарий – рассмотрение ситуации, предусматривающей разрушенные межкамерные целики при устойчивых межблочных.

Результаты расчетов и их анализ

Результаты расчетов приводятся в виде картин-изолиний распределения напряжений и отрисованных зон возможных разрушений пород (на рисунках эти зоны выделены черным цветом).

На рис. 3 и 4 для условий сценария 1 приведены картины распределения максимальных касательных напряжений $\tau_{\max}$ и участков потерь устойчивости

в горнотехнической конструкции камерно-целиковой выемки свиты угольных пластов комплексом КГРП на удалении 130 м от контура разреза в зависимости от степени нарушенности горного массива. На рис. 5, 6 продемонстрированы результаты расчетов для сценария 2.

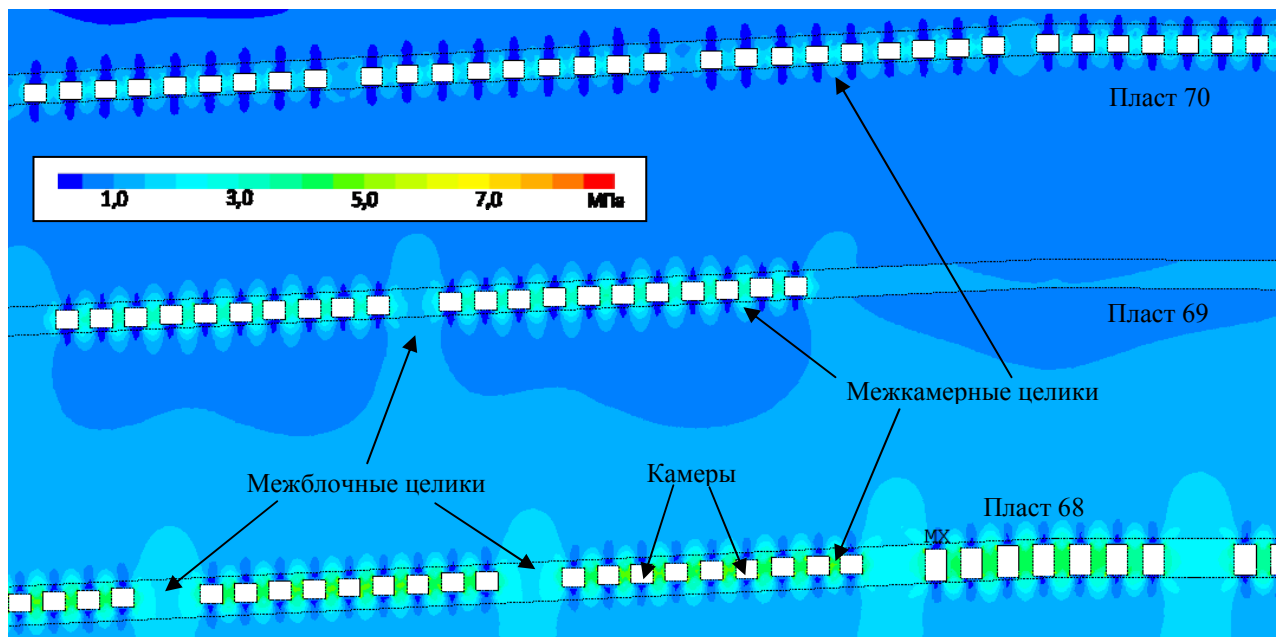


Рис. 3. Фрагмент распределения максимальных касательных $\tau_{\max}$ напряжений в массиве горных пород (1-сценарий)

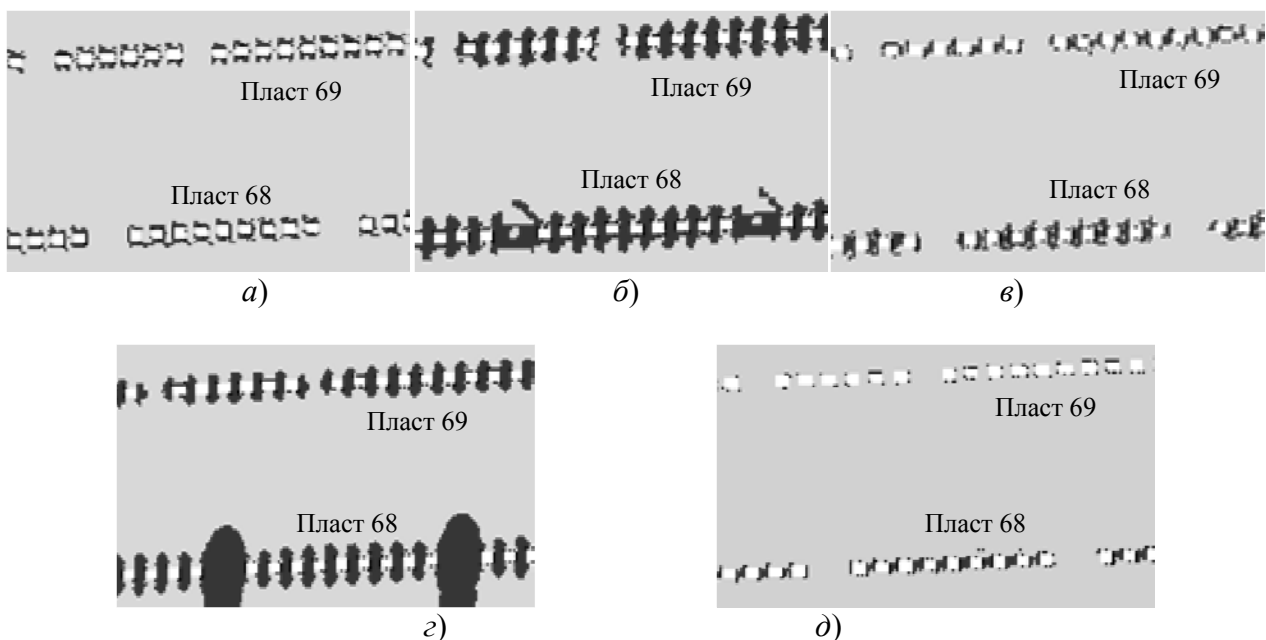


Рис. 4. Фрагменты картин зон разрушений пород в горнотехнической конструкции по сценарию 1:

а) по растягивающим напряжениям; б) по критерию Кулона-Мора при $K_c = 0,05-0,1$; в) тоже при $K_c = 0,2-0,25$; г) по $\sigma_1 - \sigma_3 \leq \sigma_{сж}$ при $K_c = 0,05-0,1$; д) тоже при $K_c = 0,2-0,25$

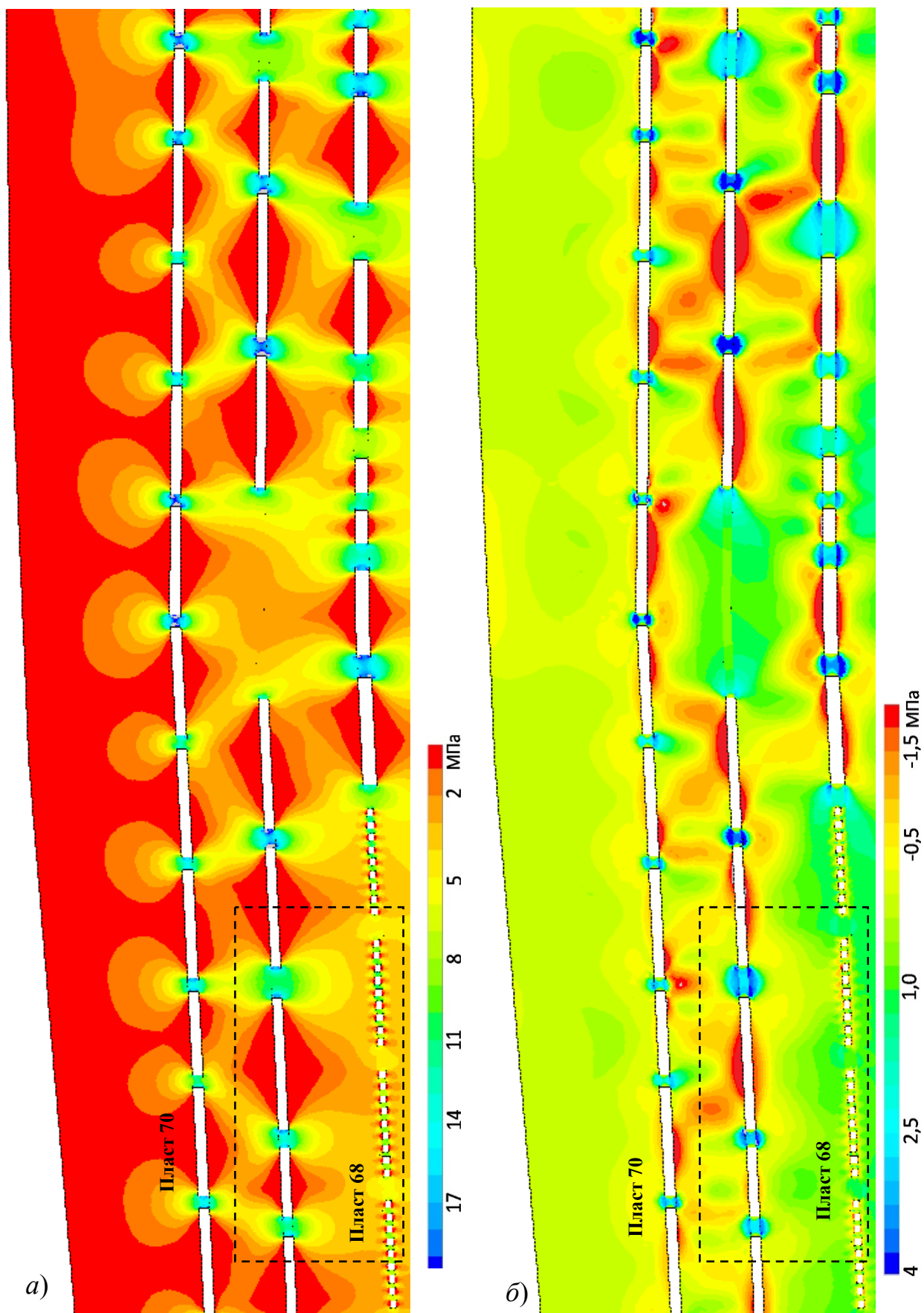


Рис. 5. Развернутая картина распределения напряжений в массиве горных пород 2-сценарий):

а) максимальных главных σ_1 ; б) минимальных главных σ_3

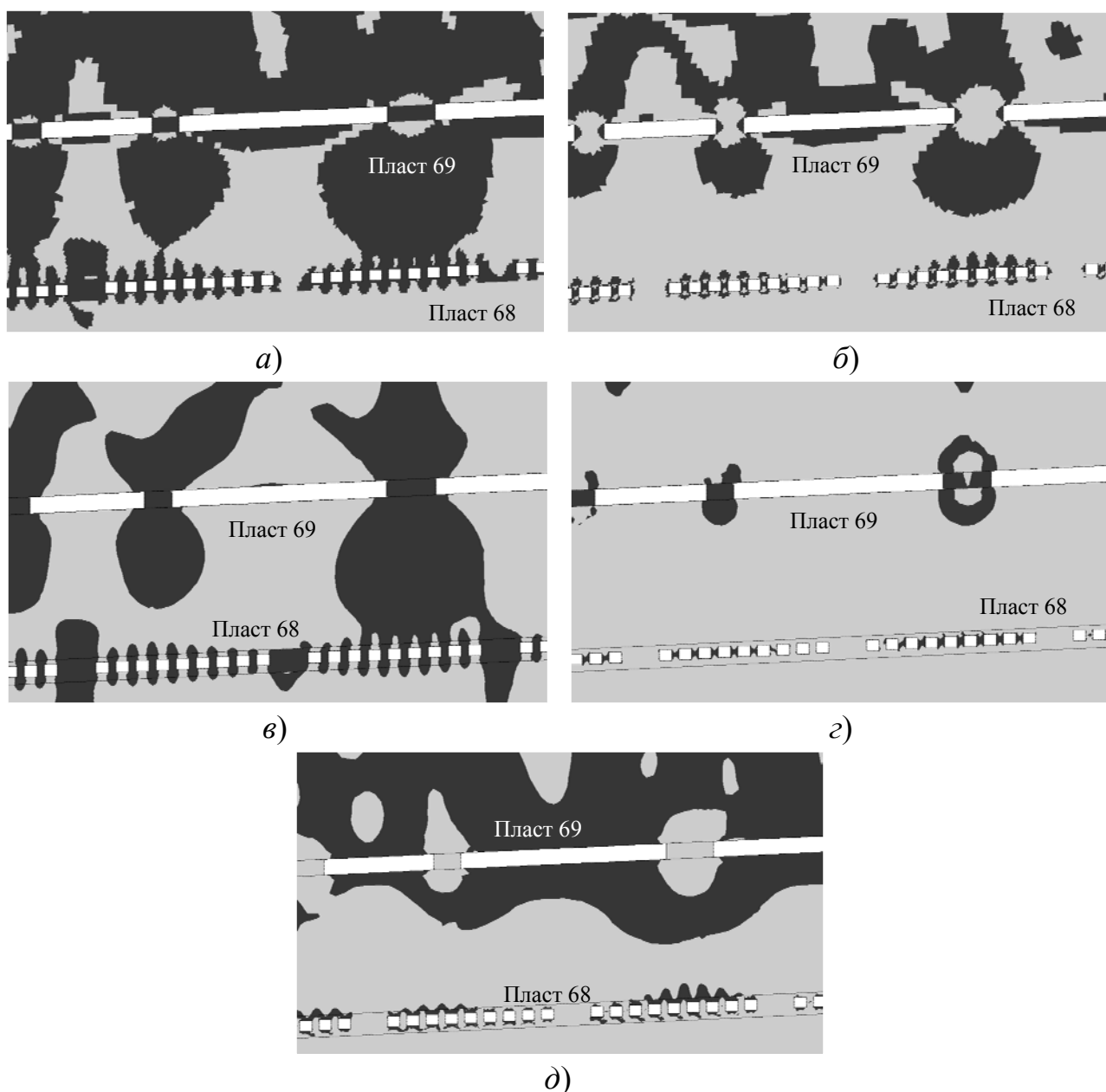


Рис. 6. Фрагменты картин зон разрушений пород в горнотехнической конструкции по сценарию 2:
 а) по критерию Кулона-Мора при $K_c = 0,05-0,1$; б) тоже при $K_c = 0,2-0,25$;
 в) по критерию $\sigma_1 - \sigma_3 \leq \sigma_{сж}$ при $K_c = 0,05-0,1$; г) тоже при $K_c = 0,2-0,25$; д) по растягивающим напряжениям

На основании выполненных расчетов в соответствии с рассмотренными сценариями горнотехнической конструкции, предусматривающей выемку угля комплексом КГРП установлены:

– параметры напряженно-деформированного состояния (НДС) массива пород с выделением наиболее напряженных (зон концентраций) и разгруженных областей. Полученные результаты моделирования свидетельствуют о том, что действующие напряжения (при рассмотрении наихудшей ситуации – степень нарушенности массива сильная $K_c = 0,05-0,1$) с точки зрения деформаци-

онно-прочностных характеристик горных пород являются запредельными, что отрицательно сказывается на устойчивости выработок. В наиболее неблагоприятных условиях находятся кровля и почва камер, а также межкамерные и межблочные целики, сохранность которых определяется прочностными свойствами пород. За счет значительных пролетов отработки, образующихся при определенных шагах посадки массива пород в их кровле и почве формируются обширные зоны растяжения, способствующие к развитию обрушений (рис. 7, а). Максимальные значения главных напряжений (сжатия) σ_1 наблюдаются в целиках и краевых участках зон отработки;

– участки потерь устойчивости (зоны критического деформирования пород) горного массива. Последние с достаточно высокой степенью согласуется с натурными производственными данными (рис. 7). В зависимости от принятого критерия оценки устойчивости пород и степени их нарушенности (изменение прочностных свойств с учетом структурного ослабления), формируемые прогнозные области разрушения массива, так или иначе, связаны с межкамерными и межблоковыми целиками, а также кровлей и почвой камер, и зоной отработки. Как показало численное моделирование, места образования зон возможных разрушений пород соответствуют участкам концентраций напряжений сжатия, растяжения и сдвига, а размеры их изменяются в зависимости от прочностных свойств горных пород (т.е. полученные значения напряжений для весьма нарушенного массива позволяют нам оценивать горные конструкции и обнажения, как неустойчивые).



Рис. 7. Характер разрушения кровли камер и межкамерных целиков в натурных (производственных) условиях

Таким образом, в процессе ведения горных работ необходимо вести постоянный мониторинг за участками с повышенной концентраций напряжений и оценивать степень их влияния на условия разработки.

Заключение

Снижение прочности целиков и обрушение пород со стороны кровли камер и пролетов отработки, главным образом, обусловлено действием в массиве пород значительных по величине (превышающих предельные характеристики пород) напряжений сжатия, растяжения и сдвига. Решающую роль на состояние устойчивости массива пород оказывает его структурное ослабление, вызванное, как естественными, так и техногенными факторами.

В целом, основанием использования результатов математического моделирования НДС и устойчивости элементов горнотехнической конструкции, обусловленной выемкой пласта угля комплексом КГРП, могут являться прогнозирование участков обрушений пород с дальнейшей разработкой мероприятий по обеспечению безопасности ведения очистных работ в местах с повышенной напряженностью горного массива.

Для контроля за миграцией опасных зон в процессе отработки пласта необходимо выполнять геологический и маркшейдерский мониторинг условий залегания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анистратов, Ю.И. Технологические процессы открытых горных работ / Ю.И. Анистратов. Учебник для вузов. – М. : Недра, 1995.
2. Хохряков В.С. Оценка эффективности инвестиционных проектов открытых горных работ. – Екатеринбург : Изд-во УГТГА, 1996.
3. Хохряков В.С. Проектирование карьеров. – М. : Недра, 1992.
4. Н. В. Мельников. Теория и практика открытых разработок / Н. В. Мельников, Э. И. Реентович, Б. А. Симкин и др.; под ред. Н. В. Мельникова. – М. : Недра, 1979.
5. Попков М.П. Открыто-подземная разработка угольных пластов // Уголь. 1998. № 2.
6. Томаков П.И, Манкевич В.В. Открытая разработка угольных и рудных месторождений / изд. МГГУ, Москва, 1995.
7. New highwall system on offer // Austral. Mining. 1998 - 90, № 11.
8. Ржевский В.В. Открытые горные работы. Ч. 1 и 2. М.: Недра, 1985.
9. Нецветаев А.Г., Григорян А.А., Пружина Д.И. Расчетные и фактические параметры технологии с применением КГРП для отработки пласта Кыргайский 63 на разрезе «Купринский» / Горная промышленность. – 2014 – № 5 (117).
10. Нецветаев А.Г., Репин Л.Н., Соколовский А.В., Юткин А.В. Технология глубокой разработки угольных пластов: анализ опыта внедрения на разрезе «Распадский» / Уголь. – 2005 – № 2.
11. Нецветаев А.Г., Кучеренко В.В. Разрез «Распадский» – первый в России опыт добычи угля с применением комплексов глубокой разработки пластов / Горное оборудование и электромеханика. – 2005 – № 2.
12. Зубов В.П., Осминин Д.В. Направления совершенствования технологии разработки угольных пластов с использованием комплексов глубокой разработки пластов (КГРП) / Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008 – № 5.

13. Зубов В.П., Осминин Д.В. Выемка угля в бортах разрезов с использованием комплексов глубокой разработки пластов / Горный журнал. – 2008 – № 5.
14. Черный Г.И. Устойчивость подрабатываемых бортов карьеров. М.: Недра, 1980.
15. Неверов А.А. Прогнозная оценка устойчивости бортов карьера «Чернореченский» на конечной стадии разработки / Вестн. Кузбасского гос. Тех. Унив., 2012 № 6.
16. Гальперин А. М. Геомеханика открытых горных работ. М: Издательство МГГУ, 2003.
17. Шашенко О.М., Сдвижкова О.О., Гапеев С.М. Деформируемость и прочность массивов горных пород: Монография. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2008.
18. Фрейдин А. М., Неверов С. А., Неверов А. А., Конурин А. И. Геомеханическая оценка геотехнологий подземной добычи руд на стадии проектных решений // Горный журнал. – 2016. – № 2. – С. 39-45.
19. Drucker D.C., Prager W. Soil mechanics and plastic analysis for limit design // Quarterly of Applied Mathematics. – 1952 – Vol. 10, N 2.
20. Фрейдин А.М., Неверов С.А., Неверов А.А., Конурин А.И. К обоснованию выбора и определению параметров геотехнологий добычи руд с учетом вида напряженно-деформированного состояния горных пород // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2017. – Т. 4. – № 3. – С. 180-185.
21. Balmer G. A general analytical solution for Mohr's envelope. // Am. Soc. Test. Mat. – 1952.
22. Hoek E. Practical Rock Engineering. – London: Institution of Mining and Metallurgy, 2002.

© А. А. Неверов, А. М. Никольский, Т. А. Цымбалюк, 2019