

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

DOI: 10.26730/1999-4125-2018-1-5-13

УДК 622.28, 622.831

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАМЕРНО-СТОЛБОВОЙ ВЫЕМКИ С РЕГУЛЯРНЫМ ИЗВЛЕЧЕНИЕМ ЦЕЛИКОВ И ОБРУШЕНИЕМ ПОРОД КРОВЛИ В УСЛОВИЯХ БОЛЬШИХ ГЛУБИН

SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF ROOM-AND-PILLAR MINING WITH REGULAR EXTRACTION OF PILLARS AND ROOF CAVING AT A LARGE DEPTH

Неверов Александр Алексеевич^{1,3},
заведующий лабораторией, к.т.н., e-mail: nnn_aa@mail.ru
Alexander A. Neverov^{1,3}, Head of the laboratory, Ph.D.

Семенов Данил Павлович²,
ведущий инженер технолог, e-mail: SemenovDaP@alrosa.ru
Danil P. Semenov², Lead production engineer

Неверов Сергей Алексеевич^{1,3},
заведующий лабораторией, к.т.н., e-mail: nsa_nsk@mail.ru
Sergey A. Neverov^{1,3}, Head of the laboratory, Ph.D.

Никольский Александр Михайлович^{3,1},
директор, с.н.с, к.т.н., e-mail: nikosya@mail.ru
Alexander M. Nikolsky^{3,1}, Director, senior researcher, Ph.D.

Тишков Максим Вячеславович²,
заведующий лабораторией, к.т.н.,
e-mail: tishkovs@yandex.ru
Maksim V. Tishkov², Head of the laboratory, Ph.D.

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела ИМ. Н.А. ЧИНАКАЛА Сибирского отделения Российской академии наук (ИГД СО РАН), 630091, г. Новосибирск, Красный проспект 54

¹ Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 54 Krasny prospect, 630091, Novosibirsk, Russia.

² Научно-исследовательский и проектный институт алмазодобывающей промышленности "Якутнипроалмаз", 678174, Республика Саха (Якутия), г. Мирный, ул. Ленина, 39

² Research and design institute of the diamond mining industry "Yakutniproalmaz", 678174, Republic of Sakha (Yakutia), Mirny, ul. Lenina, 39

³ Горный проектно-изыскательский научно-исследовательский институт (Майнинг ПРО), 630091, г. Новосибирск, Мичурина, 23а

³ Research Institute for Mining, Mine Planning and Surveying, 630091, Novosibirsk, Michuri-na, 23a

Аннотация: Эффективная деятельность горнодобывающих предприятий во многом определяется выбором безопасной технологии ведения очистных работ с учетом реальных геомеханических процессов, протекающих в массиве пород.

Применение систем разработки с открытым выработанным пространством обусловлено повышенными технологическими рисками, связанными с обеспечением устойчивости массива пород. Основным производственным приемом, повышающим безопасность очистных работ при этих геотехнологиях в условиях значительных глубин, является многократное увеличение размеров различного рода целиков, ведущее, в свою очередь, к существенному росту потерь полезного ископаемого.

Известные способы разработки с закладкой выработанного пространства, обеспечивающие высокий уровень извлечения руд из недр, повышение устойчивости горных конструкций в удароопасных усло-

виях и высокую безопасность горных работ, характеризуются непомерно высокой себестоимостью производства и возведения искусственного массива, которая при выемке минерального сырья средней и низкой ценности не оправдывается, относят эти геотехнологии в разряд убыточных.

Перспективным направлением в данных условиях является создание и обоснование новых ресурсосберегающих технологий, сочетающих комбинацию систем разработки с разными способами управления горным давлением, позволяющих увеличить преимущества и минимизировать недостатки каждого из них.

Поэтому разработка научно обоснованных вариантов и параметров комбинированных геотехнологий является актуальной задачей дальнейшего развития безопасных и эффективных способов добычи, требующих подробного изучения.

Целью исследований является развитие и обоснование параметров и условий безопасного применения камерно-столбовой системы разработки в комбинации с обрушением пород кровли.

Основным методом исследования является трехмерное конечно-элементное моделирование напряженно-деформированного состояния и устойчивости массива горных пород в конструктивных элементах подземной геотехнологии.

Для глубины 1000 м в массивах с гравитационным характером распределения исходных природных напряжений установлены основные параметры временных столбчатых целиков и область безопасного применения рассматриваемой системы разработки.

Abstract: Effective performance of mining operations is largely determined by the choice of safe technology of extraction, taking into account the real geomechanical processes occurring in the rock mass.

The use of open stope systems is determined by increased technological risks associated with ensuring the stability of the rock mass. The main production method that increases the safety of extraction operations in these geotechnologies in conditions of considerable depth is the multiple increase in the sizes of various types of pillars, which leads to a significant increase in the losses of the mineral.

Known methods of development with stowing of worked-out space, ensuring a high level of ore extraction, increasing the stability of mine structures under rock bump hazard conditions and high safety of mining operations, are characterized by an unreasonably high cost of production and erection of an artificial massif. Production costs of medium and low value minerals are not justified, thus referring these geotechnologies to the category of unprofitable.

A promising direction under these conditions is the development and justification of new resource-saving technologies combining the development systems with different methods of rock pressure control, which allow us to increase the advantages and minimize the shortcomings of each of them.

Therefore, the development of scientifically justified options and parameters of combined geotechnologies is an urgent task for the further development of safe and efficient mining methods requiring the detailed study.

The aim of the study is to develop and substantiate the parameters and conditions for the safe application of the board-and-pillar development system in combination with the roof rock caving.

The main study method is a three-dimensional finite element simulation of the stress-strain state and stability of a rock massif in structural elements of underground geotechnology.

The basic parameters of temporary columnar pillars and the area of safe application of technology are established for a depth of 1000 m in massif with gravitational distribution of initial stresses.

Ключевые слова: Система разработки, большие глубины, целики, массив пород, напряженно-деформированное состояние, кровля, устойчивость, безопасность

Key words: Development system, large depths, pillars, rock massif, stress-strain state, roof, stability, safety

Актуальность

В мировой практике отработки пологих и наклонных рудных залежей средней мощности и даже весьма мощных (например, на Жезказганском месторождении), широкое распространение получила система разработки с камерно-столбовой выемкой [1-6]. Этот способ добычи руд на базе комплексов самоходных горных машин характеризуется сравнительно низкими издержками производства, высокой интенсивностью выемки и производительностью труда горнорабочих [2, 5].

Глубина применения камерно-столбовой геотехнологии при отработке пологих рудных залежей ограничена и определяется геомеханическими

условиями выемки. По оценке [2] на глубине 1000 м для надежного поддержания очистного пространства около половины запасов панели должно оставаться в целиках, которые со временем разрушаются и теряют свою устойчивость [7-8]. Разрушение целиков обуславливает обрушение кровли залежей [1-3].

В подобных условиях погашение целиков и доизвлечение оставленных запасов руд сопровождается большими затратами на дополнительную проходку выработок бурения и доставки руды, повышенными потерями минерального сырья [1-5].

Отмеченные выше преимущества и недостатки классического варианта камерно-столбовой

выемки руд обусловили поиск путей совершенствования этой геотехнологии применительно к одному пологопадающему месторождению полиметаллических руд. Месторождение представлено обширной рудной залежью, существенная часть которой имеет среднюю мощность 8-12 м, залегает под углом 5-10° на глубинах 700-1100 м. Физико-механические свойства руд и пород месторождения приведены в таблице.

Технология выемки

В предлагаемом варианте системы разработки (рис. 1) предусмотрено сочетание различных способов поддержания очистного пространства – временными целиками и обрушением кровли. Это позволит, как показали расчеты, эффективно и безопасно использовать камерно-столбовую выемку на больших глубинах, сохранить основные преимущества этой геотехнологии при заметном

нине временных рудных целиков с последующим обрушением пород кровли на высоту, обеспечивающую заполнение выработанного пространства. Далее под обрушенными породами извлекаются ленточные панельные целики.

Параметры внутриблоковых и панельных целиков, а также расстояние между ними выбирают из условия обеспечения устойчивости пород кровли очистных камер. Диаметр столбчатых целиков при мощности залежи 6-10 м на глубинах 700-1000 м по предварительным расчетам может составлять от 6-10 и 10-14 м соответственно по границам панели и в ее центре. Расстояние между ними изменяется от 8 до 12 м. Ширина панельных ленточных целиков на этих глубинах зависит от размеров самой выемочной панели и может достигать 30 м и более.

Для детальной геомеханической оценки пара-

Таблица. Физико-механические свойства руд и вмещающих пород
Table. Physicomechanical properties of ores and host rocks

Наименование	Плотность (γ), т/м ³	Прочность на сжатие, МПа	Прочность на растяжение, МПа	Сцепление (C), МПа	Угол внутреннего трения (φ), град	Коэффициент Пуассона (μ)	Модуль Юнга (E), ГПа
Роговик	2,9	80-120	5-8	10-18	37-47	0,25	40-60
Базальт	2,9	90-130	8-13,7	13-24	35-50	0,24	60-80
Габбро-долерит	2,8	100-140	10	18-30	33-50	0,22	60-70
Габбро-долерит с оруденением	2,7	84-128	7-14	12-20	33-52	0,23	50-60
Руда	4,0	120-140	6-12	15-25	35-55	0,25	50

сокращения потерь руды в целиках.

Подготовка залежи заключается в проведении главного транспортного штрека, из которого нарезаются панельные орты. Ширина панели принята 100-120 м.

Очистные работы в панели начинаются с образования отрезной щели. Отбойку руды ведут шпурами глубиной 3,0-4,5 м с формированием временных рудных целиков с круглой или квадратной формой поперечного сечения. Погрузка и доставка горной массы осуществляется самоходными погрузочно-доставочными машинами (ПДМ). По мере выемки основных запасов панели с отставанием от фронта очистных работ на 30-35 м (2 ряда столбчатых целиков по отношению к линии очистного забоя) осуществляется погаше-

метров предложенного способа выемки приняты следующие исходные данные: глубина ведения горных работ 1000 м; ширина панели — 130 м; ширина камеры — 100 м; ширина панельного ленточного целика — 30 м; диаметр столбчатых целиков 8,0 и 10,0 м соответственно по границам камеры и в ее центре; расстояние между целиками — 8,0-10,0 м; сетка расположения целиков — 16×18 и 18×18 м; высота обрушения пород кровли — 20 м; отставание фронта выемки панельного ленточного целика по отношению к камере — 24 м; отставание погашения выработанного пространства от очистного забоя камеры — 26 м (соответствует 2-м рядам столбчатых целиков).

Оценка устойчивости элементов технологии

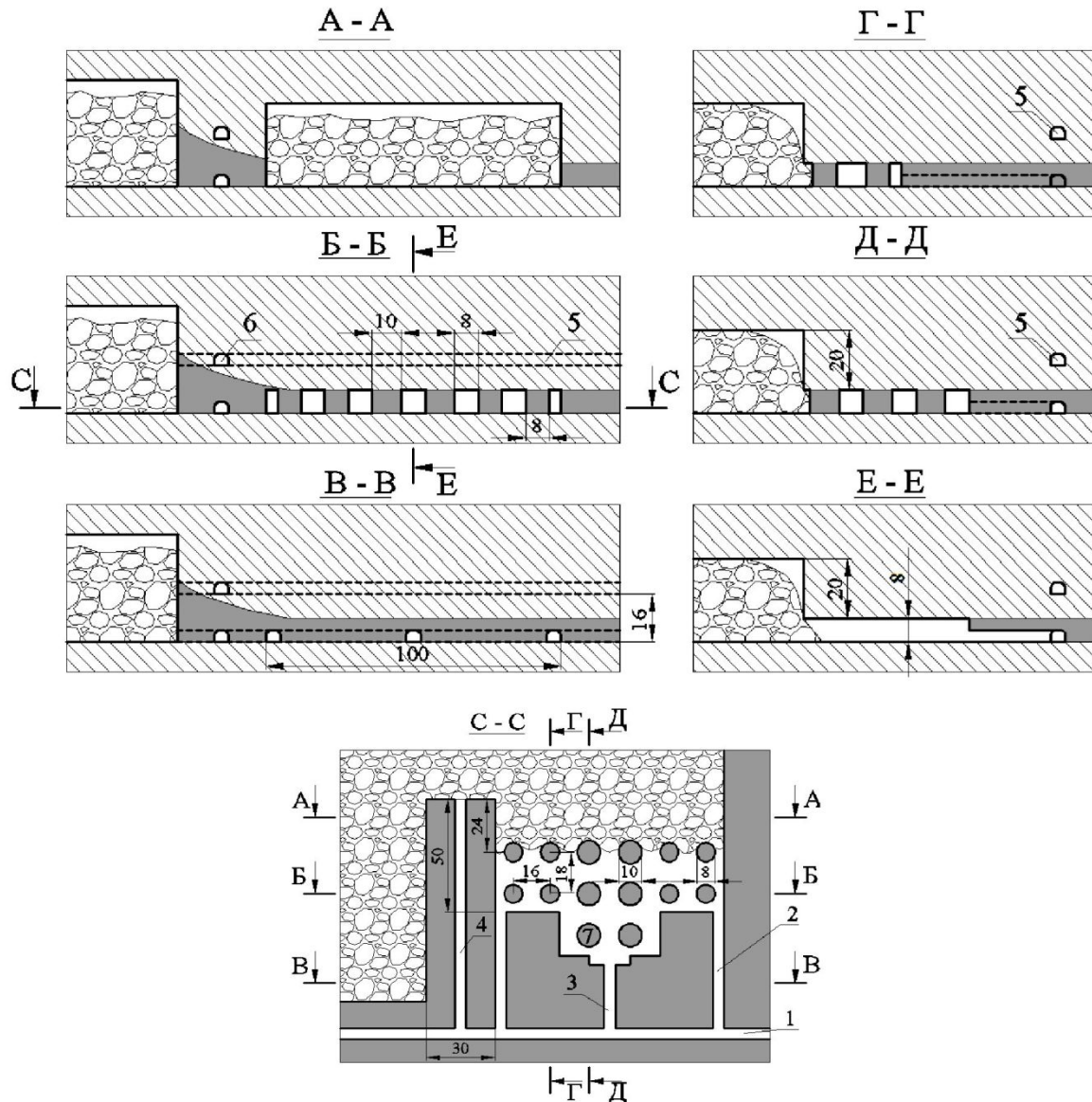


Рис. 1. Камерно-столбовая система разработки с регулярным извлечением целиков и обрушением пород кровли: 1 — панельный транспортный штрек; 2 — панельный вентиляционный орт; 3 — разрезной орт; 4 — буро-доставочный орт; 5 — вентиляционно-посадочный штрек; 6 — посадочный орт; 7 — временные столбчатые целики

Fig. 1. Chamber-pillar development system with regular extraction of the pillars and collapse of the roof rocks: 1 - panel transport drift; 2 - panel ventilation horn; 3 - the split unit; 4 - boring and delivery ort; 5 - ventilation and landing drift; 6 - landing ort; 7 - temporary columnar pillars

Моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) и устойчивости массива горных пород выполнено методом конечных элементов (МКЭ) по упругой модели в трехмерной постановке задачи для условий гравитационного (вид напряженного состояния по "Диннику") характера распределения исходного поля напряжений в недрах [9-14]. Результаты расчетов выдаются в главных σ_1 , σ_3 и максимальных касательных τ_{\max} напряжениях. За максимальное главное напряжение принималось σ_1 , за минимальное — σ_3 . Анализ результатов расчетов пока-

зал следующее (рис. 2-4).

Наиболее нагруженными элементами геотехнологии являются временные столбчатые целики, контактирующие с фронтом посадки налегающих пород, в которых сжимающие напряжения σ_1 достигают величин 130÷150 МПа, что соизмеримо с прочностными характеристиками массива горных пород. При этом отмечается, что возникающие в них минимальные главные напряжения σ_3 являются положительными (10÷20 МПа). В этом случае сохранность целиков возрастает.

Меньшие нагрузки испытывают столбчатые

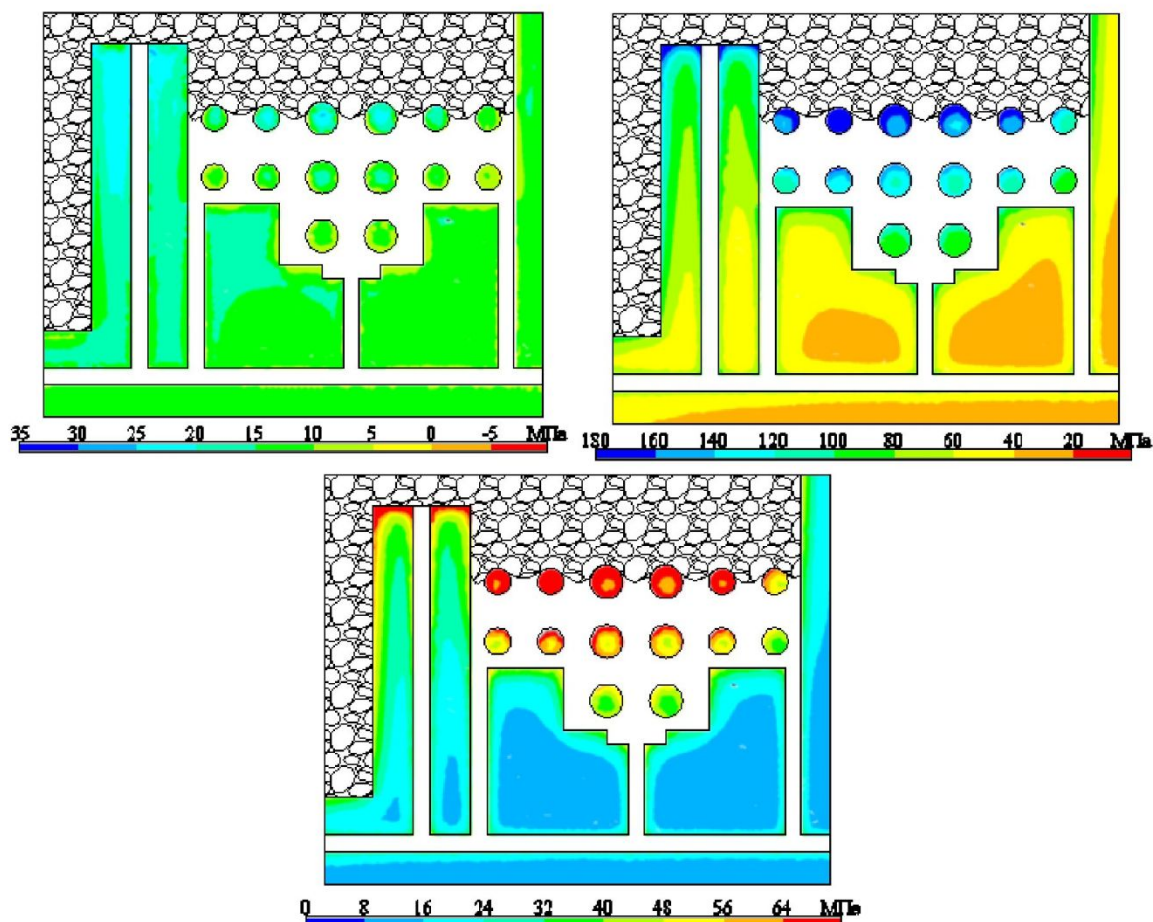


Рис. 2. Характер распределения напряжений в центральном горизонтальном сечении столбчатых целиков (см. разрез C-C на рисунке 1)
 Fig. 2. The nature of stress distribution in the central horizontal cross-section of columnar pillars (see section C-C in Figure 1)

целики, удаленные от линии фронта зоны обрушения ($\sigma_1 = 90 \div 120$ МПа). Действующие напряжения в панельных ленточных целиках не достигают критических значений ($\sigma_1 = 60 \div 70$ МПа, $\sigma_3 = 5 \div 15$ МПа, $\tau_{\max} = 24 \div 32$ МПа).

Напряженно-деформированное состояние призабойной области отработки рудной залежи характеризуется объемным сжатием, что способствует устойчивости горных пород ($\sigma_1 = 60 \div 80$ МПа, $\sigma_3 = 10 \div 20$ МПа). Области повышенных растягивающих напряжений в горно-технической конструкции формируются в кровле и почве панели, вблизи фронта зоны погашения налегающей толщи пород ($\sigma_3 = -3 \div -6$ МПа).

Расчеты НДС массива горных пород вокруг выработок показали, что уровень напряжений в их стенках составляет, соответственно для компонент σ_1 , σ_3 и τ_{\max} — $60 \div 80$, $15 \div 20$ и $16 \div 32$ МПа. Аналогично в кровле выработок — $20 \div 40$, $0 \div 10$ и $8 \div 16$ МПа. При данных величинах действующих напряжений, учитывая прочностные свойства, существующих на месторождении руд и вмещающих пород, обеспечивается сохранность горных

выработок.

В целом отметим, что устойчивость пород при данной технологической схеме будет обуславливаться действием в массиве не только повышенных концентраций сжимающих и максимальных касательных напряжений, но и естественной его нарушенностью.

На основе исследований НДС массива горных пород был выполнен анализ их устойчивости в конструкции рассматриваемой геотехнологии по критерию Кулона – Мора [12-14, 17]. Результаты расчетов приводятся в виде отрисованных зон критического состояния (возможных разрушений) пород с учетом коэффициента структурного ослабления массива ($K_c = 0,5$ и $0,8$).

На рис. 5 приведены картины областей потери устойчивости пород (показаны черным цветом) по разрезам в характерных сечениях рассматриваемой системы разработки согласно рис. 1 в зависимости от степени нарушенности горного массива.

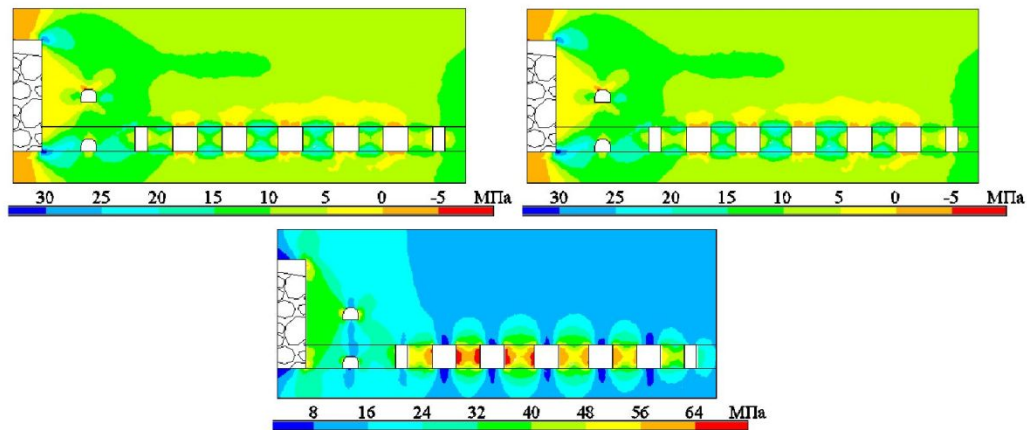


Рис. 3. Характер распределения напряжений в поперечном сечении панели (см. разрез Б-Б на рисунке 1)

Fig. 3. The nature of stress distribution in the cross-section of the panel (see section B-B in Figure 1)

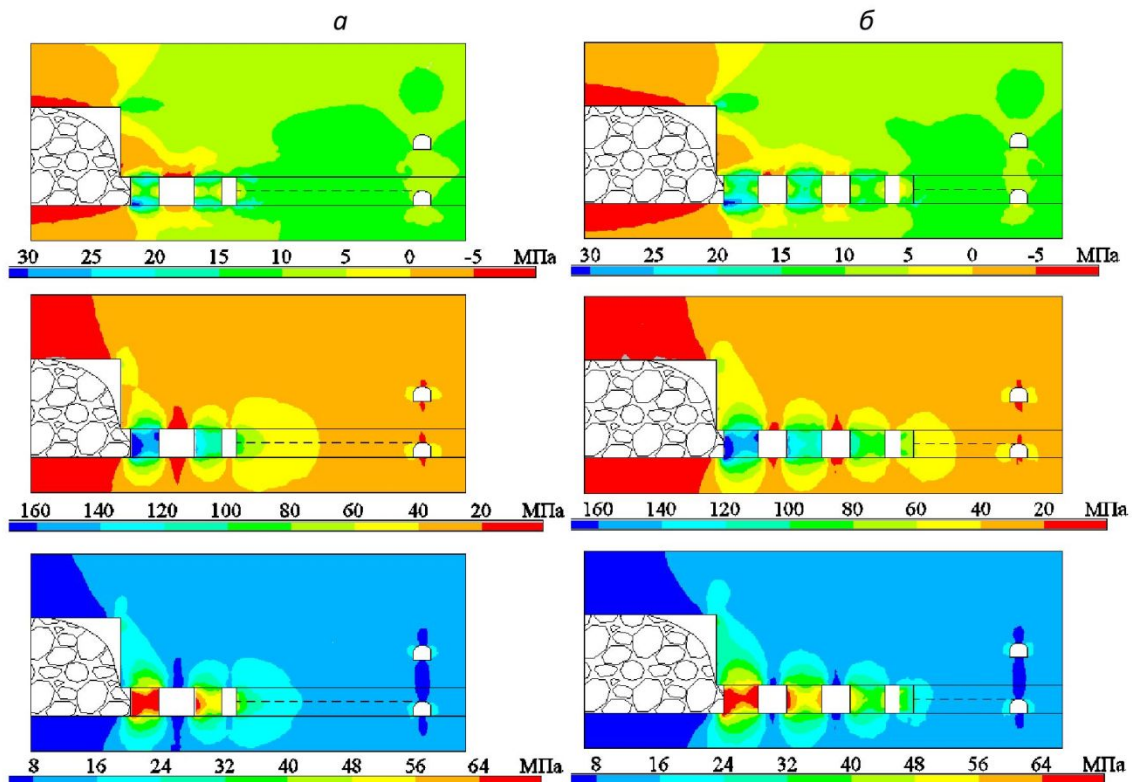


Рис. 4. Характер распределения напряжений в элементах камерно-столбовой системы разработки: а — в вертикальном продольном сечении на фланге панели (см. разрез Г-Г на рисунке 1); б — в вертикальном продольном сечении в центре панели (см. разрез Д-Д на рисунке 1)

Fig. 4. The nature of the distribution of stresses in the elements of the chamber-pillar development system: a - in the vertical longitudinal section on the flank of the panel (see the section of G-G in Figure 1); b - in the vertical longitudinal section in the center of the panel (see D-D cut in Figure 1)

Как видно разрушение столбчатых целиков и пород кровли панели накладывают ограничение на использование этой геотехнологии при отработке месторождений с трещиноватостью массива ($K_c \ll 0,5$). Повышение устойчивости внутрипанельных столбчатых целиков в этих условиях может быть достигнуто за счет увеличения их диа-

метра до 12-16 м. В наиболее благоприятной ситуации находятся столбчатые целики при $K_c = 0,8$. Таким образом, область применения данной геотехнологии на глубинах 1000 м ограничивается отработкой преимущественно средне- (слабо-) нарушенных массивов горных пород при условии последовательного извлечения столбчатых цели-

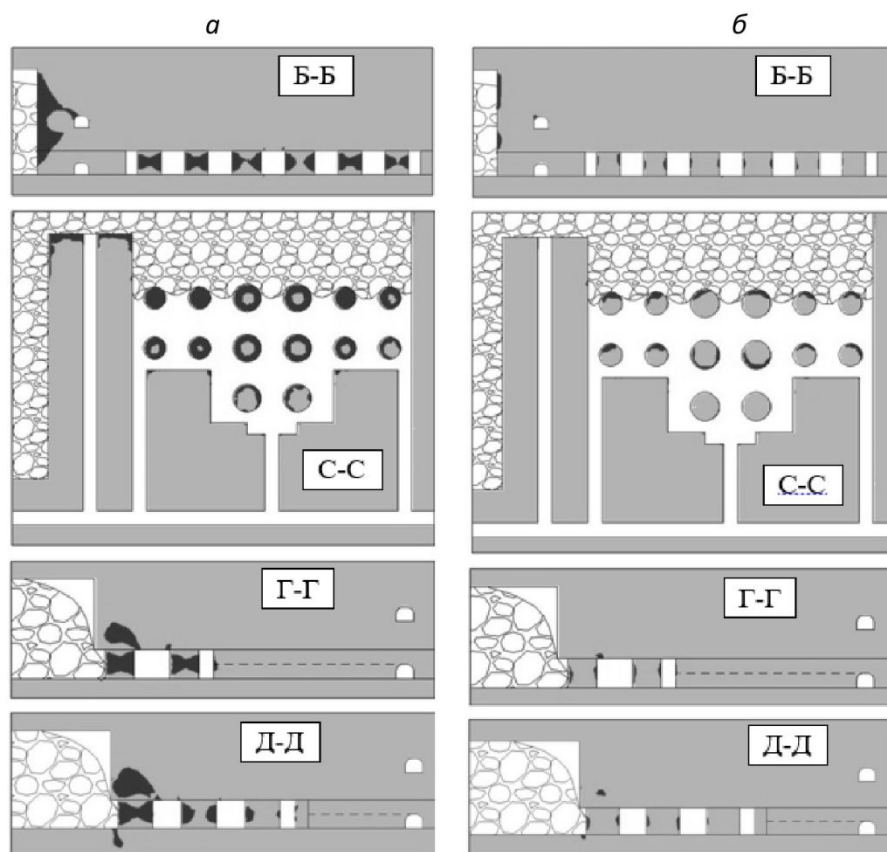


Рис. 5. Прогнозируемые зоны возможных разрушений пород в элементах камерно-столбовой выемки с регулярным извлечением целиков и обрушением кровли согласно рис. 1: а — при коэффициенте структурного ослабления массива $K_c = 0,5$; б — то же $K_c = 0,8$

Fig. 5. The predicted zones of possible fracture of rocks in the elements of the chamber-pillar recess with regular extraction of the pillars and collapse of the roof in accordance with Fig. 1: а — at the coefficient of structural weakening of the massif $K_c = 0,5$; б — same $K_c = 0,8$

ков и обрушения пород кровли вслед за интенсивным продвижением фронта выемки камерных запасов руды.

Как показывают исследования [1, 3, 9], выполненные для условий Жезказганского месторождения, уже на глубинах 400-500 м столбчатые целики диаметром 6 м и менее в панелях 150×200 м при коэффициенте структурного ослабления $K_c = 0,5$ теряют свою устойчивость в течение первых пяти лет. Установлено, что при $K_c = 0,3$, независимо от мощности залежи, целики изначально неустойчивы. Использование столбчатых целиков диаметром 10 м позволило сохранить их устойчивость в течение 15 лет.

Выводы

Результаты расчетов НДС и устойчивости массива горных пород показали, что безопасное освоение камерно-столбовой выемки рудных по-

логих залежей с регулярным извлечением целиков и обрушением пород кровли на глубинах до 1000 м достигается при $K_c \gg 0,5$:

- формировании внутриблоковых целиков диаметром 8,0 и более м, панельных ленточных целиков шириной не менее 30,0 м;
- обеспечении рациональной сети расположения столбчатых целиков;
- применении внутриблоковых столбчатых целиков переменных размеров с увеличением их диаметра (до 12,0-15,0 м) в центре панели;
- регулярном погашении столбчатых целиков и обрушении пород кровли, не допускающих зависаний налегающей толщи пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борщ-Компониц В.И. Горное давление при отработке мощных пологих рудных залежей / В.И. Борщ-Компониц, А.Б. Макаров. – М.: Недра, 1986.
2. Бронников Д. Н. Разработка руд на больших глубинах / Д.Н. Бронников, Н.Ф. Замесов, Г.И. Богда-

нов. – М.: Недра, 1982.

3. Напряженное состояние и прогноз поведения массива при камерно-столбовой системе разработки / С.В. Кузнецов [и др.]. – Алма-Ата: Наука, 1987.

4. Ямщиков В.С. Исследование проявлений горного давления при отработке Миргалымсайского месторождения на больших глубинах / В.С. Ямщиков, И.Ш. Коган, А.В. Корн // Горный журнал. – 1984. – № 11.

5. Гальперин В.Г. Опыт разработки месторождений на больших глубинах за рубежом / В.Г. Гальперин, Я.И. Юхимов, И.В. Борсук. – М.: ЦНИИЭИЦМ, 1986.

6. Славиковский О.В. Подземная разработка месторождений руд цветных металлов на больших глубинах за рубежом. – М.: ЦНИИЭИЦМ, 1983.

7. Abdellah Wael R. Serviceability analysis of deep underground openings driven in jointed-rock / International Journal of Mining Science and Technology. 2017, №27, p. 1019-1024.

8. S. Okubo. Underground mining methods and equipment / S. Okubo and J. Yamatomi // Civil engineering – Vol. II; 2015

9. Назаров Л. А. Оценка длительной сохранности целиков при камерно-столбовой выемке рудных залежей / Л.А. Назаров, Л.А. Назарова, А.М. Фрейдин, Ж.К. Алимсентова // ФТПРПИ. – 2006. – № 6.

10. Назаров Л. А. Оценка устойчивости междукammerных целиков на основе критерия накопления повреждений / Л.А. Назаров, Л.А. Назарова // ФТПРПИ. – 2007. – № 6.

11. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975.

12. Неверов С.А. Геомеханическая оценка устойчивости выработок выпуска руды при системах с обрушением / С.А. Неверов, А.А. Неверов // ФТПРПИ. – 2013. – № 2.

13. Неверов А.А. Геомеханическая оценка комбинированной геотехнологии при отработке мощной пологой рудной залежи // ФТПРПИ. – 2014. – № 1.

14. Фрейдин А.М. Геомеханическая оценка комбинированной системы разработки мощных пологих рудных залежей с закладкой и обрушением / А. М. Фрейдин, А. А. Неверов, С. А. Неверов // ФТПРПИ. – 2016. – № 5.

15. Wael R. Abdellah. Evaluation of the Effect of Rock Joints on the Stability of Underground Tunnels / Wael R. Abdellah, Mahrous A. M. Ali, Gamal Y. Boghdady and Mohamed E. Ibrahim // Journal of Civil Engineering and Architecture Research – November 25, 2016.

16. Özdemir, M. Evaluation of a Coal Mine Located in Çan, Çanakkale Using 3D Modelling / Özdemir, M., Kahraman, B., Doğruöz, C., Yalçın, E // 6th International Conference on Computer Applications in the Minerals Industries Istanbul, Turkey. 5-7 October 2016: 1-4.

17. Турчанинов И.А. Основы механики горных пород / И.А. Турчанинов, М.А. Иофис, Э.В. Каспарьян. – М.: Недра, 1989.

REFERENCES

1. Borsch-Componets, V.I. Mountain pressure during the development of powerful gently sloping ore deposits / V.I. Borsch-Komponietz, A.B. Makarov. – Moscow: Nedra, 1986 [Borshch-Komponiyets V.I. Gornoye davleniye pri otrabotke moshchnykh pologikh rudnykh za-lezhey / V.I. Borshch-Komponiyets, A.B. Makarov. – М.: Недра, 1986.].

2. Bronnikov, DN, "Development of Ores at Great Depths," D.N. Bronnikov, N.F. Zamesov, G.I. Bogdanov. – Moscow: Nedra, 1982[Bronnikov, D. N. Razrabotka rud na bol'shikh glubinakh / D.N. Bronnikov, N.F. Zamesov, G.I. Bogdanov. – М.: Недра, 1982.].

3. Stress state and the forecast of array behavior in the chamber-pillar system of development / S.V. Kuznetsov [and others]. – Alma-Ata: Science, 1987 [Napryazhennoye sostoyaniye i prognoz povedeniya massiva pri kamerno-stolbovoy si-steme razrabotki / S.V. Kuznetsov [i dr.]. – Alma-Ata: Nauka, 1987.].

4. Yamshchikov, VS Exploration of the manifestations of rock pressure during the development of the Mirga-Limsay deposit at great depths. Yamshchikov, I.Sh. Kogan, A.V. Korn // Mountain Journal. – 1984. – № 11 [Yamshchikov V.S. Issledovaniye proyavleniy gornogo davleniya pri otrabotke Mirga-limsayskogo mestorozhdeniya na bol'shikh glubinakh / V.S. Yamshchikov, I.SH. Kogan, A.V. Korn // Gornyy zhurnal. – 1984. – № 11.].

5. Galperin, V.G. Experience in the development of deposits at great depths abroad / V.G. Galperin, Ya.I. Yukhimov, I.V. Borsuk. - Moscow: TsNIIETSM, 1986 [Gal'perin, V.G. Opyt razrabotki mestorozhdeniy na bol'shikh glubinakh za rubezhom / V.G. Gal'perin, YA.I. Yukhimov, I.V. Borsuk. - M.: TSNIIETSM, 1986.].
6. Slavikovsky, O.V. Underground mining of non-ferrous metal ores at great depths abroad. - Moscow: TsNIIETSM, 1983 [Slavikovskiy O.V. Podzemnaya razrabotka mestorozhdeniy rud tsvetnykh metallov na bol'shikh glubinakh za rubezhom. - M.: TSNIIETSM, 1983.].
7. Abdellah Wael R. Serviceability analysis of deep underground openings driven in jointed-rock / International Journal of Mining Science and Technology 2017, №27, p. 1019-1024.
8. S. Okubo. Underground mining methods and equipment / S. Okubo and J. Yamatomi // Civil engineering – Vol. II; 2015
9. Nazarov, L.A. Evaluation of long-term integrity of the pillars in the chamber-column excavation of ore deposits / L.A. Nazarov, L.A. Nazarova, A.M. Freydin, J.K. Alimseitova // Journal of Mining Science. - 2006. - No. 6 [Nazarov L. A. Otsenka dlitel'noy sokhrannosti tselikov pri kamerno-stolbovoy vyem-ke rudnykh zalezhey / L.A. Nazarov, L.A. Nazarova, A.M. Freydin, J.K. Alimseitova // FTPRPI. - 2006. - № 6.].
10. Nazarov, L.A. Evaluation of the stability of interlocking pillars on the basis of the damage accumulation criterion. Nazarov, L.A. Nazarova // Journal of Mining Science. - 2007. - No. 6 [Nazarov L. A. Otsenka ustoychivosti mezhdukamernykh tselikov na osnove kriteriya nakopleniya povrezhdeniy / L.A. Nazarov, L.A. Nazarova // FTPRPI. - 2007. - № 6.].
11. Zenkevich, O. Finite Element Method in Engineering. - Moscow: Mir, 1975 [Zenkevich O. Metod konechnykh elementov v tekhnike. - M.: Mir, 1975.].
12. Neverov, S.A. Geomechanical assessment of the stability of mine workings in caving systems / S.A. Neverov, A.A. Neverov // Journal of Mining Science. - 2013. - No. 2 [Neverov S.A. Geomekhanicheskaya otsenka ustoychivosti vyrabotok vypuska rudy pri sistemakh s obrusheniyem / S.A. Neverov, A.A. Neverov // FTPRPI. - 2013. - № 2.].
13. Neverov, A.A. Geomechanical evaluation of combined geotechnology in the refining of a strong gently sloping ore deposit, Journal of Mining Science. - 2014. - No. 1 [Neverov A.A. Geomekhanicheskaya otsenka kombinirovannoy geotekhnologii pri otra-botke moshchnoy pologoy rudnoy zalezhi // FTPRPI. - 2014. - № 1.].
14. Freydin, A.M. Geomechanical evaluation of the combined system for the development of powerful gently sloping ore deposits with laying and collapse / A.M. Freydin, A.A. Neverov, S.A. Neverov // Journal of Mining Science. - 2016. - No. 5 [Freydin, A.M. Geomekhanicheskaya otsenka kombinirovannoy sistemy razrabotki moshchnykh pologikh rudnykh zalezhey s zakladkoy i obrusheniyem / A. M. Freydin, A. A. Neverov, S. A. Neverov // FTPRPI. - 2016. - №5.].
15. Wael R. Abdellah. Evaluation of the Effect of Rock Joints on the Stability of Underground Tunnels / Wael R. Abdellah, Mahrous A. M. Ali, Gamal Y. Boghdady and Mohamed E. Ibrahim // Journal of Civil Engineering and Architecture Research – November 25, 2016.
16. Özdemir, M. Evaluation of a Coal Mine Located in Çan, Çanakkale Using 3D Modelling / Özdemir, M., Kahraman, B., Doğruöz, C., Yalçın, E // 6th International Conference on Computer Applications in the Minerals Industries Istanbul, Turkey. 5-7 October 2016: 1-4.
17. Turchaninov, I.A. Fundamentals of rock mechanics / I.A. Turchaninov, M.A. Iofis, E.V. Casparian. - Moscow: Nedra, 1989 [Turchaninov I.A. Osnovy mekhaniki gornykh porod / I.A. Turchaninov, M.A. Iofis, E.V. Kaspar'yan. - M.: Nedra, 1989.].