УДК 622.831:622.274

И.Ю.РАССКАЗОВ, *д-р техн. наук, директор, rasskazov@igd.khv.ru*
Г.А.КУРСАКИН, *д-р техн. наук, главный научный сотрудник, (4212)31-18-67*
М.И.ПОТАПЧУК, *научный сотрудник,(4212)31-18-62*
Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН, Хабаровск
М.И.РАССКАЗОВ, *студент, (4212)75-02-85*
Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск

I.Yu.RASSKAZOV, *Dr. in eng. sc., director, rasskazov@igd.khv.ru*
G.A.KURSAKIN, *Dr. in eng. sc., chief research associate, (4212)31-18-67*
M.I.POTAPCHUK, *research assistant, (4212)31-18-67*
Mining institute of the Far Eastern branch of the RAS, Khabarovsk
M.I.RASSKAZOV, *student,(4212)75-02-85*
Pacific State University, Khabarovsk

ГЕОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГОРНЫХ РАБОТ В УДАРООПАСНЫХ УСЛОВИЯХ

По результатам численного моделирования установлены закономерности формирования напряженно-деформированного состояния в элементах проектируемых вариантов систем разработки на различных стадиях отработки участков Николаевского и Южного полиметаллических месторождений. Анализ техногенного поля напряжений дал возможность выявить потенциально удароопасные участки горного массива и обосновать эффективные мероприятия по предотвращению динамических проявлений горного давления.

***Ключевые слова*:** горный массив, геомеханическая система, система разработки, метод контроля горного давления.

GEOMECHANIC ASSESSMENT OF TECHNOLOGICAL DECISIONS FOR DESIGNING MINING OPERATIONS IN OF BURST HAZRDOUS CONDITIONS

Regularities of forming of strained – deformed state in elements of designed variants of systems of development on various mining stages for Nikolaevskoe and Yuzhnoe polymetallic deposits are determined on the results of numerical modeling. Analysis of technogeneous stress field made it possible to discover some potential burst-hazardous sections of the rock massif and to substantiate effective rock pressure decreasing measures for preventing dynamic rock pressure occurrences.

Key words: rock massif, geomechanic state, system of development, method of finite elements, technogeneous stress field, methods of rock pressure control.

Геомеханическое обоснование технологических решений по эффективной и безопасной отработке месторождений полезных ископаемых имеет важное значение при проектировании как открытого, так и подземного способов добычи. Это особенно необходимо для месторождений, характеризующихся сложными горно-геологическими, в том числе удароопасными условиями разработки. В Дальневосточном регионе разрабатывается или готовится к освоению целый ряд месторождений, склонных или опасных по горным ударам. К числу последних отнесены расположенные в центральной части Дальнегорского рудного поля Восточного Приморья Николаевское и Южное полиметаллические месторождения, где зарегистрирован весь спектр динамических проявлений

горного давления, включая сильные с тяжелыми последствиями горные и горно-тектонические удары [2].

Южное месторождение представлено крутопадающими рудными телами. Основное промышленное значение имеет жила № 4 средней мощностью от нескольких сантиметров до 3 м, которая прослеживается с поверхности по простиранию на 1000 м, по глубине – на 520 м. Простирание жилы восточно-северо-восточное азимутом 72°, падение на юго-восток под углами 35-60°. Жила сложена массивными полосчатыми сульфидными и карбонатно-сульфидными рудами. Вмещающие породы представлены переслаивающимися песчаниками и алевролитами.

В настоящее время Южное месторождение отработано до горизонта 550 м, в этаже 480-550 м ведется очистная выемка, ниже горизонта 480 м – ведутся горно-подготовительные и горно-капитальные работы. Отрабатывается месторождение системой подэтажных штреков с выемкой подэтажей по падению при угле падения рудного тела до 50° или по простиранию при большем угле. Для отработки запасов в этаже 440-480 м в условиях высокой изменчивости элементов залегания рудных тел (по падению, простиранию и мощности) для снижения удароопасности была предложена технология с комбинированием двух вариантов систем разработки: подэтажными штреками (для отработки крутопадающей верхней части блока) и с распорной крепью (в нижней пологой части). При отработке верхней части блока с применением системы разработки подэтажными штреками для улучшения показателей извлечения предусматривалась проходка дополнительных промежуточных подэтажей (с отметок 477 и 464 м) с шириной целика между подэтажами 3,5-4 м.

Николаевское месторождение представлено группой скарново-сульфидных залежей сложной формы, приуроченных к границе несогласия между двумя структурными этажами и залегающих на большой глубине от поверхности. Залежи локализуются на контакте верхнетриасовых известняков с несогласно перекрывающими их верхнемеловыми туфами липаритов, в которых залегают андезиты и сформировались глыбовые и жильные рудные тела.

Первоначально месторождение разрабатывалось с применением камерно-целиковой системы с твердеющей закладкой, а в последние годы получен положительный опыт применения камерной системы разработки с управляемым обрушением кровли [1]. Рудную залежь разбивают на блоки, содержащие камеру и целик; в первую очередь извлекают запасы камеры, а затем вынимают целик и осуществляют выпуск руды под защитой породной консоли. Завершив выемку запасов, производят принудительное обрушение пород кровли до проектной высоты и приступают к отработке готового к выемке смежного блока. Вследствие принятых технологических решений остался не отработанным участок рудной залежи «Харьковская», расположенный в этаже –(267-275 м). Данный участок расположен между профильными линиями 37 и 40 и сопрягается с юго-западного и северо-восточного направления с ранее отработанными камерами соответственно 2-5 блока 5 и камерами 1-3 блока 4. Отработка данного участка будет осуществляться в юго-восточном направлении путем обуривания вееров скважин через 2-2,5 м, сначала горизонта –267 м, затем –275 м.

Практически весь литологический комплекс вмещающих пород и руд месторождений обладает достаточно высокой прочностью и упругостью, а также хрупкостью. Показатель удароопасности, представляющий собой отношение упругой относительной деформации к полной относительной деформации ($k_{уд} = \varepsilon_{упр}/\varepsilon_{п}$), приближается к единице, что дает основания считать породы и руды потенциально удароопасными, способными накапливать значительную потенциальную энергию и разрушаться в динамической форме.

По результатам проведенных исследований было установлено преобладание субгоризонтальных сжимающих напряжений, ориентированных в направлении от субширотного до северо-восточного и в 1,8-2,5 раза превышающих гравитационную составляющую [2]. Они обусловлены глобальными геодинамическими процессами в земной коре, что подтверждается данными GPS-наблюдений, согласно которым современное перемещение этой части Амурской плиты по Сихотэ-

Алинскому профилю, проходящему в районе месторождений, имеет отчетливое субширотное направление и составляет (по отношению к пунктам на острове Сахалин) 7-10 мм/год. Именно это перемещение является причиной высоких горизонтальных напряжений в массивах ряда месторождения южной части Дальнего Востока.

В последние годы с увеличением глубины горных работ и ростом объемов выработанных пространств, сложной геометрии из-за высокой изменчивости параметров рудных тел на Южном и Николаевском месторождениях наблюдается усложнение геомеханической ситуации и рост числа и интенсивности динамических проявлений горного давления. В подобных условиях необходимы надежная прогнозная оценка напряженно-деформированного состояния (НДС) горного массива и установленные закономерности перераспределения напряжений под влиянием горных работ, что дает возможность обосновать ударобезопасные технологии добычи полезных ископаемых и разработать эффективные мероприятия по предупреждению опасных проявлений горного давления. Для исследования особенностей формирования техногенного поля напряжений в массивах месторождений применялся метод конечных элементов (МКЭ), с помощью которого выполняли численное моделирование НДС в плоской и объемной постановке задач. Граничные условия для расчетных моделей исследуемых областей месторождений были приняты с учетом вышеперечисленных данных.

В условиях взаимовлияния сложных геологических условий и различных технологических решений исследовались особенности формирования техногенного поля напряжений в массиве горных пород на различных стадиях отработки удароопасных месторождений.

Результаты численного моделирования НДС на Южном месторождении показали, что отработка месторождения в этаже 440-480 м по предложенной системе отработки приводит к формированию сложного техногенного поля напряжений. Наиболее высокий уровень напряжений отмечен в двух верхних подэтажах (в области, граничащей с ранее выработанным пространством) и в прилегающих к ним участкам междукамерных целиков. По мере отработки очистного блока и увеличения длины выработанного пространства L значение нормальных и касательных напряжений растет прямо пропорционально и достигает максимума в целиках (100 МПа и более) при полной отработке блока. Установлено, что при полной отработке соседнего очистного блока напряжения в целиках увеличиваются на 25-30 %. В целиках верхнего подэтажа (в плане) на различных стадиях отработки очистного блока была выявлена протяженная область повышенных напряжений в лежачем боку рудного тела.

В процессе исследований были также установлены важные в практическом отношении закономерности изменения напряженного состояния в конструктивных элементах применяемой системы разработки в условиях высокой изменчивости параметров залегания рудной жилы (мощности и угла падения рудного тела, длины выработанного пространства) [3].

Установлено, что при снижении мощности рудного тела m с 3 до 0,75 м происходит снижение напряжений (в верхних целиках) на 15-20 %. Значительно большее влияние на уровень напряжений оказывает изменение угла падения β. С увеличением крутизны жилы происходит закономерный рост нормальных и касательных напряжений, достигающих максимума в междукамерных целиках при β = 75°, а в массиве подэтажей – при β =90° (рис.1).

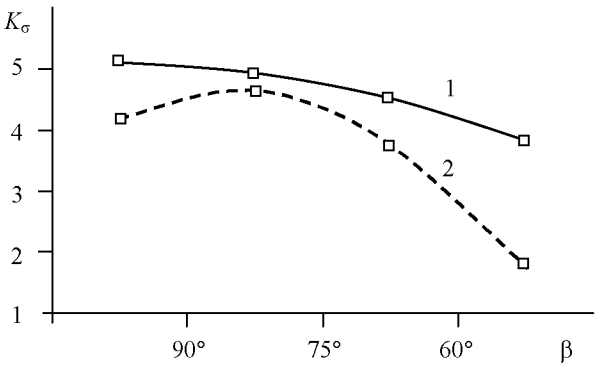


Рис.1. Изменение K_σ в массиве верхнего подэтажа (1) и в соответствующем участке междукамерного целика (2) в зависимости от угла падения рудного тела β при m = 3 м и L = 20 м

При оценке напряженно-деформированного состояния разрабатываемого массива горных пород Николаевского месторождения установлено, что под влиянием очистной выемки происходит формирование сложного техногенного поля напряжений, характеризующегося как наличием областей разгрузки (преимущественно зоны над выработанным пространством), так и появлением зон концентрации напряжений в краевых частях массива. До начала отработки рудного массива напряжения сжатия равномерно распределялись вокруг существующих выработок, при этом значения $\sigma_{ср}$ не превышали 50 МПа. На начальных стадиях отработки повышенные напряжения концентрируются преимущественно в бортах выработок, из которых производили отбойку руды (по 37-му разрезу), а также в районе вентиляционно-транспортного уклона и разведочного штрека 1 (по 39-му разрезу). На начальных стадиях отработки значения максимальных концентраций напряжений далеки от опасных значений (предела прочности пород на сжатие) и разрушение выработок в динамической форме на данной стадии развития очистных работ не прогнозируется.

После полной отработки верхней части блока (запасов до гор. –267 м) в область повышенных напряжений попадают два штрека – закладочный и разведочный, расположенные на отметках соответственно –260 и –265 м, а также в краевых частях массива выше горизонта –260 м. При этом уровень напряжений в характерных точках этих областей превышает первоначальный в 2,5 раза (и более), превосходит предел прочности на сжатие горных пород и свидетельствует о высокой степени удароопасности данных участков. Кроме того, было установлено, что в области над выработанным пространством формируются зоны разгрузки (уровень растягивающих напряжений здесь превышает 10 МПа), что может вызвать обрушение кровли камеры.

С переходом горных работ в нижнюю часть отрабатываемого блока (гор. –275 м) наблюдается резкий рост средних нормальных напряжений $\sigma_{ср}$ (на 30 МПа и более) в области 1-го транспортного и закладочного штреков, а также в районе (кровле) транспортного штрека и в северо-западном борту выработанного пространства. На последующих (XI и далее) стадиях отработки дальнейшего роста напряжений практически не наблюдается.

При моделировании участка продольного разреза С-С было установлено, что область повышенных напряжений в процессе отработки будет сосредоточена между кольцевым и диагональным квершлагами, расположенными в отметках –307,5 и –323 м соответственно. Максимальные касательные и нормальные напряжение в правом борту и почве кольцевого квершлага в 3,5 раза превышают первоначальный уровень. На совмещенном плане горных работ (рис.2) показаны наиболее напряженные потенциально удароопасные области в районе рудной залежи «Харьковская» на данном этапе отработки месторождения. К ним относятся следующие участки массива: в северо-западном борту выработанного пространства; в районе закладочного штрека – отметки –(260-250 м); между кольцевым и диагональным квершлагами в отметках –(307,5-323 м).

При оценке удароопасности краевых частей горного массива, целиков и других элементов систем разработки наиболее широко применяются критерии хрупкого разрушения горных пород, основанные на способности пород разрушаться без заметной пластической деформации [4].

Установлено, что на заключительных стадиях отработки блока (при длине выработанного пространства $L = 30$ м и более) целики теряют устойчивость и возникает высокая вероятность их разрушения в динамической форме, что доказывает необходимость мероприятий по снижению горного давления при $L = 20$ м. Для рудного скарна Николаевского месторождения $\sigma_{max} = 93$ МПа при $K_c = 0,75$. Значения среднего нормального напряжения превышают σ_{max} после отработки верхней части исследуемого блока до горизонта –267 м.

Результаты выполненных исследований дают основания для следующих выводов:

1. Предложенные для условий глубоких горизонтов Южного месторождения технология и порядок отработки запасов, предусматривающие комбинированную систему

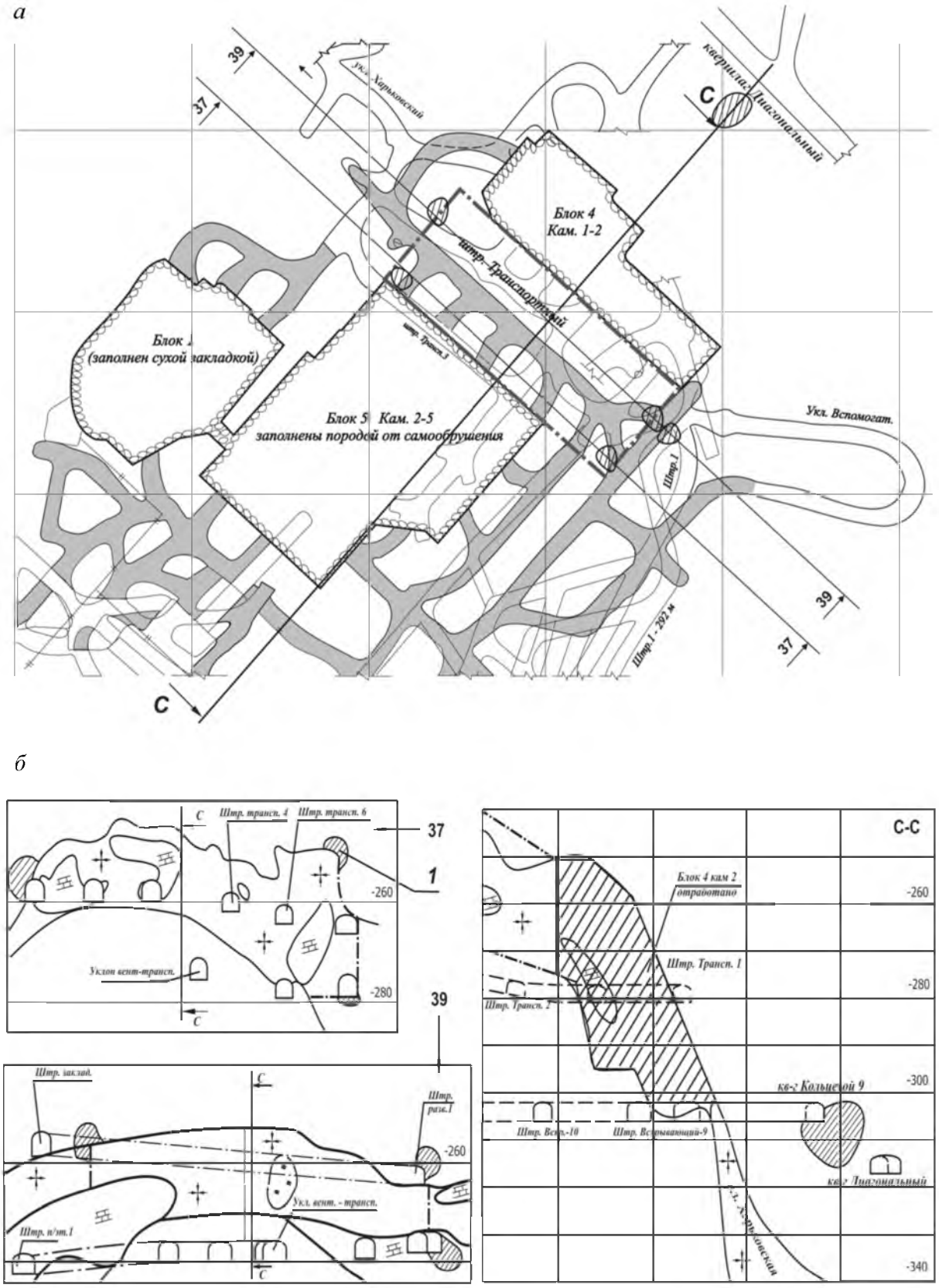


Рис.2. Наиболее удароопасные участки (заштрихованы) при полной отработке очистного блока в этаже –(267-275) м: *а* – на совмещенном плане горизонтов –(267-275) м; *б* – на поперечных разрезах 37-37; 39-39 и продольном С-С

разработки: подэтажными штреками с торцовым выпуском (для отработки верхней части блока) и с выпуском руды через дучки (в нижней части), – приводят к значительному перераспределению напряжений в зоне влияния очистной выемки и их опасной концентрации в отдельных участках массива горных пород. При этом наиболее высокая концентрация напряжений отмечена в формирующихся междукамерных целиках и в рудном массиве подэтажей, где среднее давление и интенсивность касательных напряжении на последних стадиях отработки очистного блока приближаются к пределу прочности горных пород. Установлено, что по мере увеличения выработанного пространства уровень нормальных и касательных напряжений в охранных целиках шириной 3 м возрастает на 35-40 %. С увеличением крутизны падения жилы также происходит закономерный рост напряжений, достигающий максимума в междукамерных целиках при $\beta = 75°$, а в массиве подэтажей – при $\beta = 90°$.

2. На Николаевском месторождении отработка рудных тел с применением камерной системы разработки с управляемым обрушением кровли приводит к формированию сложного техногенного поля напряжений и перераспределению опасных концентраций напряжений в различные области по мере увеличения очистного пространства. После полной отработки верхней части блока по рудной залежи «Харьковская» до гор. –267 м значение напряжений вблизи закладочного и разведочного контура штреков достигает 150 МПа, превышая первоначальный уровень соответственно в 3 и 2,8 раза.

3. Для снижения удароопасности наиболее напряженных и потенциально удароопасных участков месторождений рекомендован комплекс мероприятий, предусматривающий изменение формы поперечного сечения выработок в сочетании со щелевой разгрузкой наиболее напряженных краевых частей массива и целиков (снижающих напряжения на 25-30 %), а также непрерывный геомеханический мониторинг массива горных пород автоматизированными системами контроля.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 09-05-00533-а) и интеграционного проекта ДВО РАН № 09-II-СУ-08-001.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методы контроля и управления горным давлением на рудниках ОАО «МГК «Дальполиметалл» / И.Ю.Рассказов, Г.А.Курсакин, А.М.Фрейдин, В.Н.Черноморцев, С.П.Осадчий // Горный журнал. 2006. № 4. С.35-38.

2. *Рассказов И.Ю.* Контроль и управление горным давлением на рудниках Дальневосточного региона. М.: Горная книга, 2008. 329 с.

3. *Рассказова М.И.* Геомеханическая оценка технологии отработки глубоких горизонтов Южного месторождения / М.И.Рассказова, Г.А.Курсакин, Г.М.Потапчук // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 4. С.50-60.

4.Устойчивость горных выработок при системах подэтажного обрушения / А.М.Фрейдин, С.А.Неверов, А.А.Неверов, П.А.Филиппов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2008. № 1. С.90-100.

REFERENCES

1. *Rasskazov I.Yu., Kursakin G.A., Frejdin A.M., Chernomortsev V.N., Osadchij S.P.* Methods of rock pressure control and management in mines of public corporation «MGK "Dalpolimetall"» // Mining magazine. 2006. № 4. P.35-38.

2. *Rasskazov I.Yu.* Rock pressure control and management in Far Eastern area mines. Moscow: Publishing house «Mining book», 2008. 329 p.

3. *Rasskazova M.I., Kursakin G.A., Potapchuk G.M.* Geomechanic assessment of development technology of Jujnoe deposit deep levels // Mining information analytical bulletin. 2009. N 4. P.50-60.

4. *Frejdin A.M., Neverov S.A., Neverov A.A., Filippov P.A.* Stability of mine workings in systems of sublevel failure // Physicotechnical problems of deposit mining. 2008. N 1. P. 90-100.