

УДК 622.831.32

Сидляр Александр Владимирович
младший научный сотрудник,
Институт горного дела ДВО РАН,
680000, г. Хабаровск,
Уссурийский бульвар, 5
e-mail: Kaspar_89@mail.ru

Потапчук Марина Игоревна
кандидат технических наук,
научный сотрудник,
Институт горного дела ДВО РАН
e-mail: potapchuk-igd@rambler.ru

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
СКВАЖИННОЙ РАЗГРУЗКИ МАССИВА
ГОРНЫХ ПОРОД НИКОЛАЕВСКОГО
ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ОПАСНОГО
ПО ГОРНЫМ УДАРАМ**

Аннотация:

По результатам численного моделирования определены закономерности формирования техногенного поля напряжений на глубоких горизонтах Николаевского полиметаллического месторождения. Результаты моделирования верифицированы данными сейсмоакустического мониторинга с применением многоканальной системы контроля горного давления «Prognoz-ADS». Для наиболее опасных участков рудничного поля обоснованы параметры эффективной скважинной разгрузки массива горных пород, обеспечивающие допустимый уровень геодинамического риска при ведении горных работ.

Ключевые слова: полиметаллическое месторождение Николаевское, техногенное поле напряжений, напряженное состояние, скважинная разгрузка

DOI: 10.18454/2313-1586.2017.01.102

Sidlyar Alexander V.
junior researcher,
The Institute of Mining FEB RAS.
680000, Khabarovsk, 5 Ussuriysk Boulevard
e-mail: Kaspar_89@mail.ru

Potapchuk Marina I.
candidate of technical sciences,
researcher,
The Institute of Mining FEB RAS
e-mail: potapchuk-igd@rambler.ru

**GROUNDING THE PARAMETERS
OF ROCK MASS HOLE DISCHARGE IN
THE NIKOLAYEVSKY POLYMETALLIC
DEPOSIT DANGEROUS ON ROCK BURSTS**

Abstract:

According to the results of numerical modeling the regularities of technogenous stress field formation in deep horizons of the Nikolaevsky poly-metallic deposit are determined. Simulation results are verified by seismic and acoustic monitoring data using the "Prognoz-ADS" multi-channel rock pressure monitoring system. The parameters of efficient rock mass hole discharge providing acceptable level of geodynamic risk during mining operations are grounded for the most dangerous sections of mine fields.

Key words: the Nikolaevsky poly-metallic deposit, technogenous stress field, stressed state, hole discharge.

Проблема удароопасности на подземных рудниках Дальневосточного региона не теряет своей актуальности уже несколько десятилетий. Горное давление, неизбежное при подземной разработке в условиях глубоких горизонтов и высокой тектонической напряженности массива, создает серьезную угрозу жизни работающим, нарушает нормальный ход ведения горных работ и тем самым снижает эффективность горного производства. Решение проблемы управления горным давлением во многом сдерживается из-за недостаточной изученности природы и механизма геодинамических процессов и явлений, возникающих в массиве горных пород под влиянием многочисленных природных и техногенных факторов.

К числу наиболее опасных месторождений Дальнего Востока относится Николаевское полиметаллическое месторождение (г. Дальнегорск, Приморский край), которое характеризуется сложным геологическим строением и приуроченностью к тектонически активным районам земной коры. В последние годы на Николаевском месторождении складывается сложная геомеханическая обстановка, в результате чего оно с глубины

600 м было отнесено к категории опасных по горным ударам (в настоящее время горные работы ведутся на глубине 900 м и ниже).

Месторождение представлено серией мелко-глыбовых и мощных рудных тел различного падения и простирания с четкими контактами сложной геометрии. Главное рудное тело «Восток-1» мощностью от 3 – 80 м и шириной в центральной части рудного поля до 600 м прослежено с глубины 700 м до 1100 м. Выше и на флангах залежи «Восток-1» расположены глыбовые оруденения и серия маломощных рудных тел, в том числе и рудная залежь «Харьковская».

Геодинамика территории в региональном плане обусловлена приуроченностью к скрытому глубинному разлому субмеридионального направления, сдвиговые движения по которому определили элементы тектонической структуры месторождения. Месторождение имеет характерное блоковое строение, к главным элементам которого относятся крутопадающие Субширотный разлом и Северо-Западная тектоническая зона, разделяющие поле месторождения на три основных структурных блока: северный, центральный и западный. В пределах месторождения выделяются также протяженные крутопадающие разрывные пострудные нарушения субмеридионального простирания [1].

За время наблюдений на месторождении зарегистрировано более 200 динамических проявлений горного давления в различных формах: от стреляния пород до собственно горных и горно-тектонических ударов. На основе анализа факторов, определяющих проявления удароопасности массива, установлено, что около 50 % динамических проявлений приурочено к зонам влияния геолого-тектонической структуры массива (зоны разломов и контактов пород). Велико также и влияние особенностей горнотехнических условий разработки месторождения: более трети из зарегистрированных динамических проявлений происходят в зоне опорного давления вблизи отработанных пространств.

В последние несколько лет горные работы на Николаевском месторождении ведутся преимущественно на южном, северном флангах рудной залежи «Восток» и в районе рудной залежи «Харьковская». По результатам анализа геомеханической и горнотехнической обстановки было установлено, что отдельные участки рудных залежей «Харьковская» и «Восток» представляют потенциальную удароопасность. В таких условиях первоочередную роль для решения проблемы предупреждения опасных динамических проявлений горного давления приобретает оценка влияния масштаба и геометрии очистных блоков на уровень напряженного состояния конструктивных элементов применяемой системы разработки и выявление закономерностей формирования техногенного поля напряжений в горном массиве.

Для оценки геомеханического состояния массива и выявления опасных концентраций напряжений широко применяется математическое моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород методом конечных элементов (МКЭ), который отличается доступностью, относительно малой трудоемкостью и универсальностью программного обеспечения [2].

Научный интерес для выявления закономерностей формирования природно-техногенных полей напряжений представляет участок рудной залежи «Харьковская» (камеры 3 и 4 блока 7), а также участок между профильными линиями 37 и 40 и сопрягается с юго-западного и северо-восточного направления с ранее отработанными камерами 2 – 5 Блока 5 и камерами 1 – 3 Блока 4, соответственно. Применение совокупности теоретических и экспериментальных методов позволило установить опасные концентрации напряжений и разработать рекомендации по управлению горным давлением на этом участке.

При отработке рудных запасов применяется камерная система разработки с управляемым обрушением кровли. 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 [3].

Начальные напряжения задавались на основании ранее проведенных геомеханических исследований, в результате которых было установлено, что в массиве Николаевского месторождения действует неравнокомпонентное поле напряжений, в котором преобладают горизонтальные тектонические напряжения, в 1,5 – 2,5 раза превышающие вертикальную гравитационную составляющую [4].

Значения физико-механических свойств горных пород и руд, принятые при моделировании МКЭ, принимались в соответствии с установленными ранее результатами натурных и лабораторных исследований. Результаты исследований механических характеристик показали, что практически все вмещающие породы и руды обладают достаточно высокой прочностью, способны к накоплению потенциальной энергии упругого сжатия и хрупкому разрушению в динамической форме.

С помощью математического моделирования МКЭ решались следующие задачи:

– выделение потенциально удароопасных участков конструктивных элементов системы разработки на различных стадиях отработки исследуемого участка (очистной камеры 3 и 4 блока 7);

– выявление закономерности формирования природно-техногенных полей напряжений и оценка применяемых технологических решений для разработки месторождения с позиции удароопасности.

Анализ результатов моделирования напряженно-деформированного состояния разрабатываемого массива показал, что в районе камер блока 7 под влиянием очистной выемки происходит формирование сложного техногенного поля напряжений, характеризующегося наличием областей разгрузки (преимущественно вокруг очистных камер) и повышенных напряжений в кровле выработок и краевых частях массива (рис. 1).

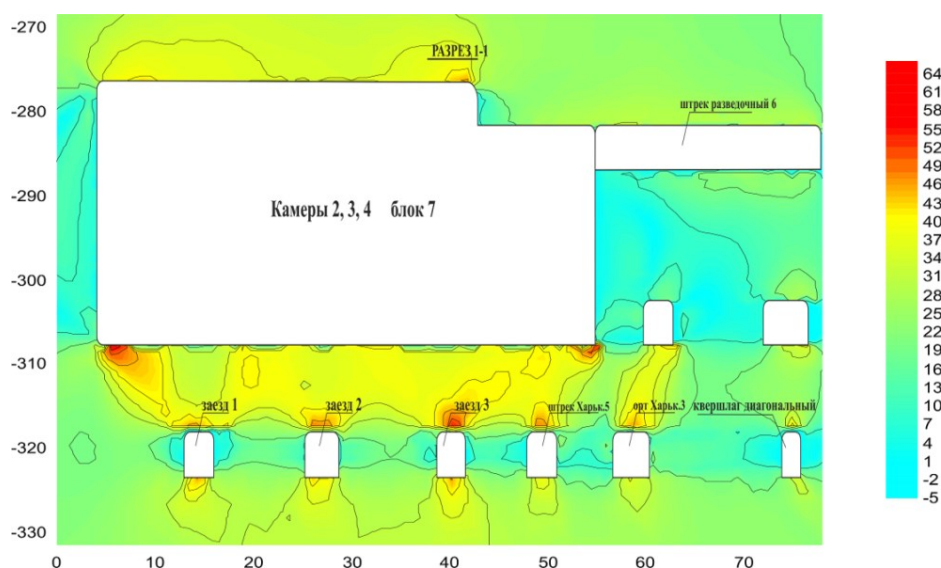


Рис. 1 – Распределение касательных напряжений после полной отработки 3-й и 4-й камер блока 7 в проекции на разрез 1-1

После полной отработки камер 3 и 4 блока 7 до гор. -323 м происходит существенное перераспределение напряжений, и большинство выработок находится в зоне опорного давления вышележащих камер и отработанных с фланга камер 3 и 4 блока 7 на гор.-323 м (рис. 2). Максимальные горизонтальные и касательные напряжения после полной отработки достигают 135 и 95 МПа, соответственно. Стоит отметить, что касательные напряжения, превышающие предельно допустимые значения, характерны только для выработок, расположенных перпендикулярно направлению действия максимальных горизонтальных напряжений.

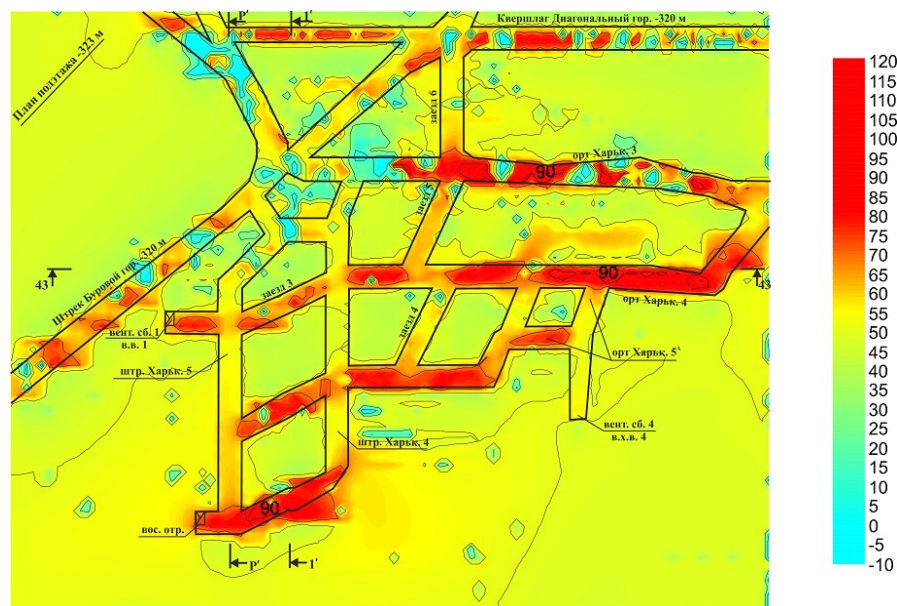


Рис. 2 – Распределение максимальных горизонтальных напряжений σ_y в кровле горных выработок, расположенных на горизонте -323 м, после полной отработки 3-й и 4-й камер блока 7

Известно, что напряженно-деформированное состояние приводит к образованию трещин, их росту и далее к разрушению приконтурной части массива. Предвестниками разрушения при этом выступают излучения, являющиеся основой для дистанционного контроля устойчивости горного массива. Эти излучения напрямую связаны с процессами в массиве, которые вызывают изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород. Из многообразия геофизических методов контроля, позволяющих получать важную информацию о состоянии массива, особое место занимает сейсмоакустический, поскольку он весьма технологичен. Его достоинства – простота установки геофонов и измерений, возможность получения непрерывной интегральной информации о процессах, происходящих непосредственно в самом массиве, без прерывания ведения добычных и подготовительных работ.

Для выявления зон концентраций напряжений, а также регионального прогноза удароопасности на Николаевском месторождении с 2011 г. применяется сейсмоакустическая автоматизированная система контроля горного давления (АСКГД) «Prognoz-ADS», разработанная в ИГД ДВО РАН. Система обеспечивает эффективную регистрацию акустических сигналов, их оцифровку, обработку и передачу по цифровым каналам связи в центральный компьютер, с которого осуществляется управление измерительно-вычислительным комплексом.

На сегодняшний день наблюдательная сеть включает в себя 15 цифровых приемных преобразователей (ЦПП), установленных в скважинах, пробуренных из горных выработок гор. -323, -360, -380, -390, -406, -420, -433. За время наблюдений в 2011 – 2015 гг. на Николаевском месторождении было зарегистрировано более 12000 АЭ-событий с различной энергетикой.

Данные, полученные по результатам сейсмоакустического мониторинга, зачастую показывают высокую сходимость с результатами моделирования НДС. В качестве наиболее характерных примеров можно привести две очаговые зоны, сформировавшиеся по результатам сейсмоакустического мониторинга в 2011 – 2013 гг.

Первая очаговая зона находится в кровле горной выработки, прилегающей к камере 1 блока «Южный-2» (рис. 3). Большая концентрация касательных напряжений обусловлена расположением выработки перпендикулярно действию максимальных горизонтальных напряжений, а также зоной опорного давления прилегающей камеры.

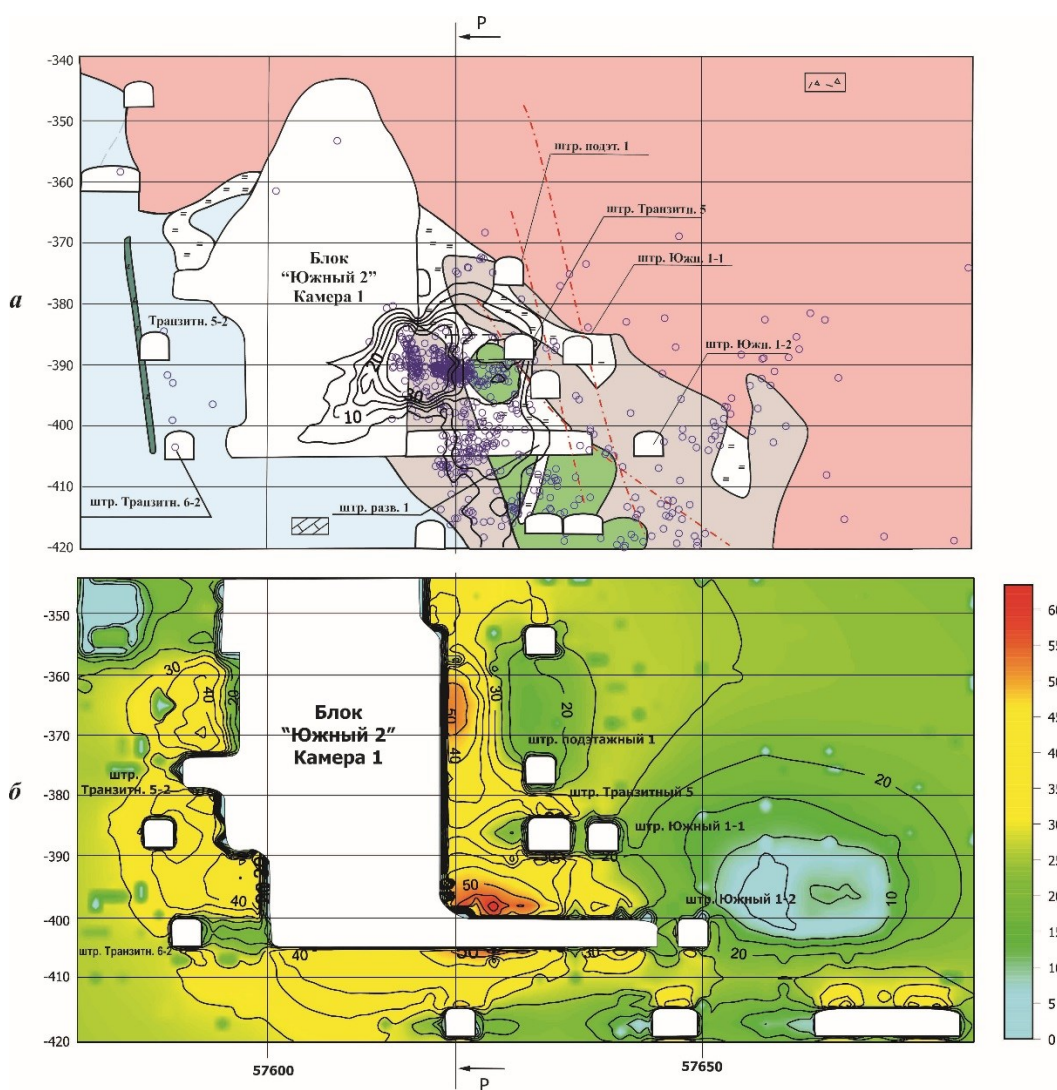


Рис. 3 – Сопоставление результатов сейсмоакустического мониторинга с результатами моделирования НДС на примере зоны концентрации напряжений в районе камеры 1 блока «Южный-2» в проекции на разрез 38-38

Вторая очаговая зона – на гор. -380 в междукамерном целике, в зоне опорного давления отработанной камеры 1 блока «Южный-1» и камеры 2 блока «Южный-2» (рис. 4).

Главным принципом безопасной отработки месторождений, склонных к горным ударам, является достижение такого порядка и способа ведения горных работ, при которых в массиве горных пород максимально исключаются чрезмерные концентрации напряжений и снижается вредное влияние горного давления вокруг горных выработок. Реализация данного принципа обеспечивается применением специальных профилактических мероприятий.

Для снижения горного давления в кровле горных выработок Николаевского месторождения в качестве профилактических мероприятий предложен метод бурения разгрузочных скважин.

Бурение ряда параллельных разгрузочных скважин обеспечивает образование саморазвивающейся защитной локальной зоны с высокой податливостью. При бурении на стенках скважин и в забое возникает предельно напряженное состояние, вызывающее разрушение поверхности скважин. В процессе разрушения происходит разгрузка (релаксация) массива.

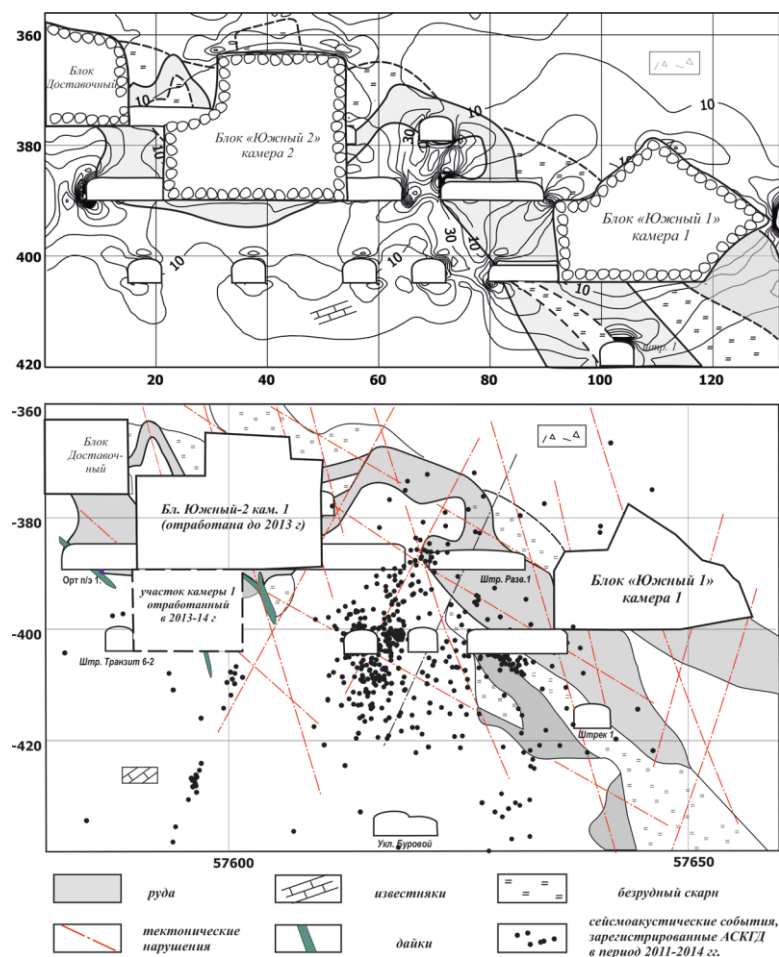


Рис. 4 – Распределение интенсивности касательных напряжений $\tau_{\text{инт}}$ в массиве горных пород до начала очистных работ камеры 2 (а) и очаги сейсмоакустических событий (б) (в проекции на разрез 36-36)

Определение оптимального расположения и параметров разгрузочных скважин, обеспечивающих максимальное снижение напряженного состояния междуэтажных целиков на Николаевском месторождении, проводилось на основании результатов моделирования.

Задача о распределении напряжений в элементах системы разработки до и после бурения разгрузочных скважин, ориентированных в различном направлении, решалась в плоской и объемной постановках задачи.

Результаты моделирования представлены на рис. 5.

Было рассмотрено 4 варианта моделей:

1. Без разгрузочных скважин.
2. Создание двух горизонтальных скважин в бортах штрека.
3. Создание двух наклонных скважин под углом 45 град.
4. Вертикальные скважины в кровле штрека длиной 5 м.

Результаты моделирования показали следующее:

1. Максимальная концентрация напряжений наблюдается в кровле выработки и в краевых частях очистной камеры.

2. Создание горизонтальных разгрузочных скважин в бортах штрека разгружает лишь борта выработки, напряжения в кровле и целике остаются практически без изменения.

3. При создании ряда вертикальных скважин в кровле штрека происходит перераспределение напряжений, приводящее к разгрузке кровли штрека.

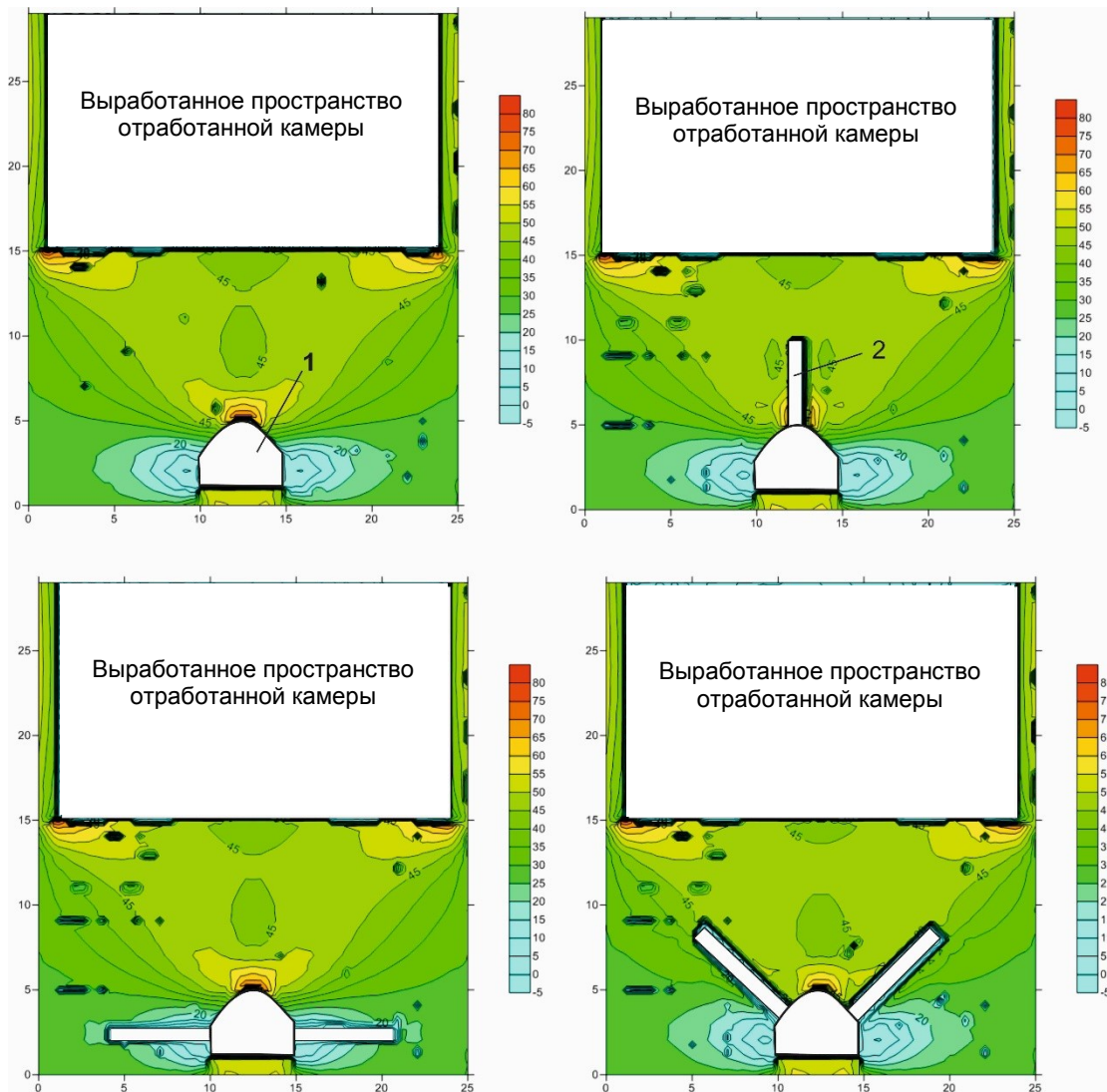


Рис. 5 – Распределение горизонтальных напряжений σ_x при различных вариантах направления разгрузочных скважин (*a* – без разгрузочных скважин; *b* – вертикальная скважина в кровле штрека длиной 5 м; *в* – горизонтальные скважины длиной 5 м; *г* – наклонные скважины в кровле штрека длиной 5 м)

Следует также отметить, что само по себе бурение разгрузочных скважин не приводит к разгрузке напряжений в кровле штрека. Перераспределение напряжений будет осуществляться только в случае, если массив будет работать не на разрушение кровли штрека, а на разрушение междускважинных целиков. Саморазрушение междускважинных перемычек приводит к образованию разгрузочной щели и последующей релаксации (разгрузке) массива.

В связи с этим для определения оптимальных параметров бурения разгрузочных скважин, обеспечивающих максимально эффективное разрушение перемычек и снижение напряженного состояния в кровле штреков, было проведено моделирование в зависимости от ширины междускважинного целика при различном диаметре разгрузочных скважин.

Анализ результатов моделирования показал, что чем больше диаметр разгрузочных скважин и чем меньше ширина междускважинного целика, тем больше напряжения в них и эффективнее разгрузка кровли штрека (рис. 6).

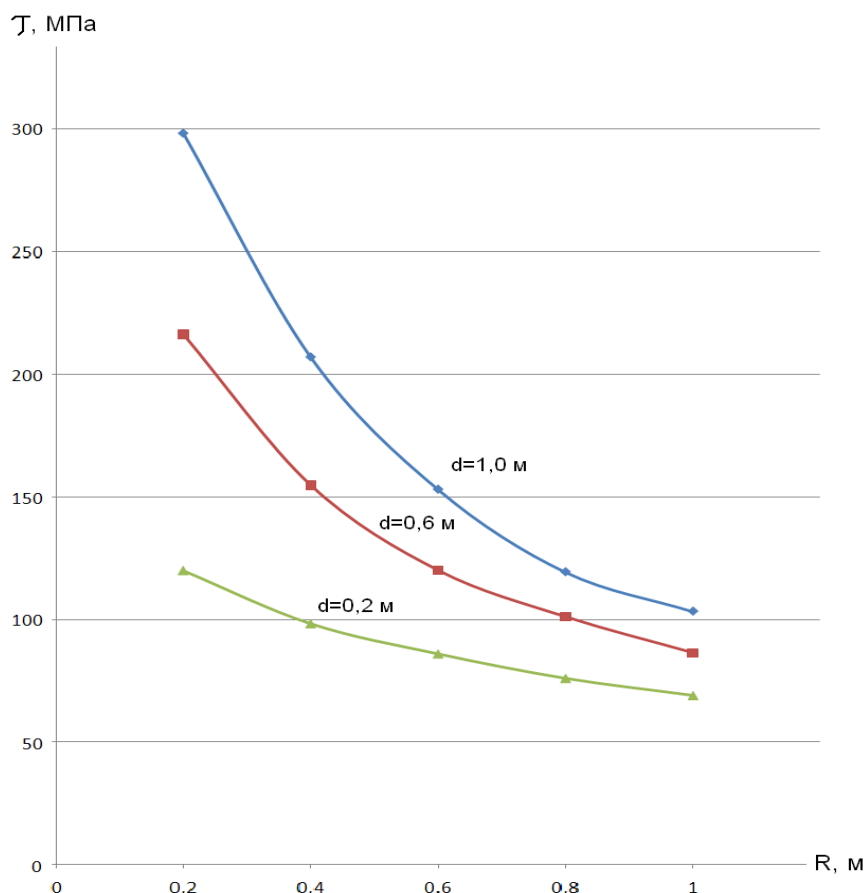


Рис. 6 – График распределения касательных напряжений $\tau_{\text{инт}}$ в зависимости от ширины межскважинного целика при различном диаметре разгрузочных скважин

Выявленные закономерности формирования природно-техногенных полей напряжений позволили обосновать параметры комплекса разгрузочных мероприятий для снижения опасных концентраций напряжений в выработках и предупреждения опасных динамических проявлений горного давления на Николаевском месторождении:

- самым эффективным вариантом разгрузки кровли штрека и безопасной эксплуатации горной выработки является бурение вертикальных разгрузочных скважин;
- для создания защитной зоны расстояние между скважинами должно обеспечивать разрушение междускажинных целиков и образование разгрузочной щели. Практическими исследованиями установлено рекомендуемое расстояние от 0,5 до 2 диаметров скважин;
- использование большего диаметра разгрузочных скважин приводит к более эффективной разгрузке;
- длина скважин влияет на длительность действия защитной зоны, должна обеспечивать безопасность штрека на весь период отработки данного участка рудничного поля. Практическими исследованиями установлено, что для выполнения этой цели достаточно бурения скважин длиной от 1,5 до 2,5 м.

Таким образом, по результатам математического моделирования НДС для Николаевского месторождения были выявлены закономерности формирования природно-техногенных полей напряжений, и для снижения горного давления были обоснованы параметры комплекса разгрузочных мероприятий, которые также необходимо использовать в сочетании с непрерывным геомеханическим мониторингом массива горных пород автоматизированными системами контроля.

Литература

1. Повышение эффективности подземной разработки рудных месторождений Сибири и Дальнего Востока / А.М. Фрейдин, В.А. Шалауров, А.А. Еременко и др. - Новосибирск: Наука, СИФ, 1992. – 177 с.
2. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике / А.Б. Фадеев. - М.: Недра, 1987.
3. 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.
4. Рассказов И.Ю. Контроль и управление горным давлением на рудниках Дальневосточного региона / И.Ю. Рассказов. - М.: Изд-во «Горная книга», 2008. - 329 с.
5. Инструкция по безопасному ведению горных пород на рудниках и нерудных месторождениях, объектах строительства подземных сооружений, склонных и опасных по горным ударам (РД 06-329-99). — М.: ГП НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2000. – 66 с.
6. Указания по безопасному ведению горных работ на Николаевском и Южном месторождениях (ОАО «ГМК «Дальполиметалл»), опасных по горным ударам / И.Ю. Рассказов, Г.А. Курсакин, В.Н. Черноморцев, С.П. Осадчий и др. // Указания по ведению горных работ.– Хабаровск: ИГД ДВО РАН, 2008. - 64 с.