

Управление состоянием напряженно-деформированных массивов разгрузкой от напряжений

Голик В. И.^{1*}, Валиев Н. Г.², Шарипзянова Г. Х.³, Келехсаев В. Б.⁴

¹ Северо-Кавказский государственный технологический университет, г. Владикавказ, Россия

² Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

³ Московский политехнический университет, г. Москва, Россия

⁴ Южно-Российский государственный политехнический университет, г. Новочеркасск, Россия

*e-mail: v.i.golik@mail.ru

Реферат

Предмет и цель работы. Представлены результаты исследований поведения напряженно-деформированных массивов и условий их геомеханической сбалансированности при техногенном вмешательстве во время подземной разработки месторождений. Актуальность исследования объясняется возросшей потребностью в металлах и неспособностью традиционных технологий удовлетворить ее.

Новизна статьи состоит в совместном рассмотрении конкурирующих технологических приемов разгрузки напряжений в равных условиях единой модели, что повышает корректность данных исследования.

Методология работы включает комплекс исследований: анализ литературных источников, теоретические и натурные изыскания, моделирование процессов и эксперименты. Сформулированы закономерности поведения массивов, разработаны условия их сбалансированности и оптимизированы параметры управления ими, а также рассмотрены предложения по оптимизации технологий управления.

Результаты работы. Показано, что средством перераспределения напряжений в массиве является закладка выработанного пространства твердеющими смесями. Обосновано, что перспективным способом управления состоянием массива является разгрузка пород от напряжений опережающей выемкой слоев по почве или по кровле рудных залежей. Приведены результаты моделирования состояния напряженно-деформированного массива при сплошном и двухстадийном порядке выемки руд с надработкой и подработкой массивов. Установлено, что минимальные сдвигения зафиксированы при одностадийной выемке с разгрузкой массива по почве. Определены преимущества сплошного порядка отработки камер: снижение напряжений, плавная передача давления и возможность снижения нормативной прочности смесей.

Область применения результатов. Технология может быть востребована при разработке подземным способом сложноструктурных месторождений преимущественно ценных руд.

Выводы. Уровень действующих в массивах напряжений снижается при сплошной выемке рудных тел с опережающей отработкой разгрузочных слоев по почве или по кровле.

Ключевые слова: геомеханика; подземная разработка; добыча руд; напряжения; разгрузка; опережающая выемка; порядок отработки камер.

Введение. Перспективы развития ресурсной базы являются задачей каждого развитого государства [1, 2]. Поэтому особым вниманием пользуются исследования, направленные на изыскание резервов оптимизации производственных процессов горного производства [3, 4].

При разработке месторождений полезных ископаемых геомеханические процессы представлены совокупностью действующих одновременно факторов, в том числе напряжений и деформаций пород и технологических возможностей управления ими.

Темпы разработки, усложнение геомеханической ситуации с понижением работ и удорожание добычи руд формируют проблему управления состоянием массива при использовании высокопроизводительных камерных технологий разработки [5, 6]. С решением задач управления вовлеченными в разработки массивами связано сохранение окружающей среды в районах горных выработок [7, 8].

Для решения проблем горного производства осуществляют комплекс исследований, в том числе: анализ литературных источников, теоретические и натурные изыскания, моделирование процессов и эксперименты [9, 10].

По результатам исследований формулируют закономерности поведения напряженно-деформированных массивов, разрабатывают условия их геомеханической сбалансированности при техногенном вмешательстве и оптимизируют параметры управления их состоянием [11, 12].

На основе анализа условий применения технологий и результатов исследований разрабатывают критерии оценки влияния технологий добычи руд на массив и предложения по оптимизации технологий управления массивом.

В заключительной части исследования ставится задача разработки участков непостоянной мощности с ускоренным переводом массивов в условия объемного сжатия и регулированием состояния массива путем разгрузки пород от напряжений. Результатирующим продуктом исследований является модель эколого-экономической оценки технологий разработки месторождений рассматриваемого типа.

Исследованиями определяются структурные элементы и нарушенность пород района Норильско-Хараелахского глубинного разлома с опережающими сбросами. Структура массивов оценивается с точки зрения распределения напряжений и деформаций. Медистые руды представляют собой тонкие и мелкие вкрапленники, перемежающиеся ослабляющими массив тонкими слоями. В основании медистых руд расположены полевошпатовые роговики мелкозернистой структуры массивной текстуры, нарушенные трещинами без заполнения. Измерениями вывалов устанавливается закономерность в их приуроченности к тектоническим нарушениям.

В результате анализа геолого-структурной ситуации обосновывается, что варианты разгрузки напряжений должны различаться по величине упругой деформации. С точки зрения плавного опускания налегающей толщи предпочтительнее нижняя подработка: верхний контакт играет роль дополнительной подушки, усиливая эффект разгрузки.

В сложных условиях локализации руд единственно возможным средством перераспределения напряжений в массиве является закладка выработанного пространства твердеющими смесями.

Сложноструктурные месторождения генетически отличаются неблагоприятными условиями разработки. Развитие горных работ еще более ослабляет устойчивость массивов с достижением максимальных значений напряженности в заключительной стадии разработки. Перспективным способом управления состоянием массива является разгрузка пород от напряжений опережающей выемкой слоев по почве или по кровле рудных залежей.

Для рудников Талнаха важно обеспечение управляемости массивом при сплошной выемке соседствующих участков месторождения различной мощности. Нуждаются в детализации вопросы: управление состоянием массивов с использованием

несущих и поддерживающих функций извлеченных руд, сохранение участков сопряжения залежей различной мощности, предотвращение негативного влияния разработки нижних горизонтов месторождения на верхние. Последнее обстоятельство имеет особую актуальность, поскольку значительная часть обрабатываемых запасов заключена в верхней части месторождения и локализована в пределах участков залежей переменной мощности.

Целью работы является детализация концепции управления состоянием напряженно-деформированных массивов разгрузкой от напряжений.

Порядок проведения исследования. Сопоставлением результатов измерений и геологических условий участков отбора кернов произведено районирование массивов. По результатам исследований массивы представляют собой дискретную среду с изменяющимися свойствами, поведение которой при нарушении геодинамического баланса сопровождается перераспределением энергии. Наиболее опасные явления в динамической форме происходят при выемке руд на участках, сложенных прочными, но разрушенными и ослабленными породами (табл. 1).

Таблица 1. Свойства пород месторождения
Table 1. Rock properties at the deposit

| Плотность пород, т/м ³ | Скорость волны, м/с | Прочность на сжатие, МПа | Удароопасность, % |
|-----------------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|
| 2,78 | 5351 | 92,7 | 77,3 |
| 2,79 | 5765 | 111,3 | 89,6 |
| 2,80 | 5030 | 140,7 | 72,0 |
| 2,79 | 5000 | 121,4 | 94,2 |
| 2,75 | 5131 | 128,2 | 95,0 |
| 2,78 | 6200 | 116,5 | 94,1 |
| 2,78 | 4941 | 114,7 | 93,0 |

Результаты исследований в скважинах подтверждают наличие корреляции между природными и технологическими условиями разработки. Наличие тектонических структур объясняет динамику изменения свойств массива под влиянием налегающей толщи.

Целью моделирования состояния напряженно-деформированного массива является его оценка при сплошном и двухстадийном порядке выемки хрупких медистых руд с разгрузкой массивов (рис. 1).

Моделирование выполнено на стенде размерами: длина – 4 м, ширина – 0,5 м, высота – 2,5 м. Масштаб моделирования 1 : 200 с пригрузкой массива высотой в модели 1,5 м.

Породы и руды имитированы песчано-цементной смесью однородного состава в соотношении 15 : 1 при водоцементном отношении 1,7 и расходе компонентов: песок – 170 кг, цемент марки 400 – 12 кг, вода – 20 л на одну порцию, имитирующую 1 м³ смеси.

В основании стенда установлены деформометры, регистрирующие величину и порядок перераспределения напряжений в процессе выемки руд и закладки. Деформометры установлены на расстояниях 3, 4, 6 см.

Количественное значение величины горного давления оценивали по прогибу пластин деформометра. Для пересчета имитируемой прочности материала использована формула Г. Н. Кузнецова.

Выполнено 6 моделей, различающихся порядком выемки панелей и способом разгрузки массива от напряжений:

- модель 1 – двухстадийная выемка (камера–целик) без разгрузки;
- модель 2 – двухстадийная выемка с разгрузкой в кровле;
- модель 3 – двухстадийная выемка с разгрузкой в почве;
- модель 4 – одностадийная выемка (сплошная) без разгрузки;
- модель 5 – одностадийная выемка с разгрузкой в кровле;
- модель 6 – одностадийная выемка с разгрузкой в почве.

Количественные значения смещения реперов сведены в табл. 2. Минимальные сдвигения зафиксированы при одностадийной выемке с разгрузкой массива по почве. Коэффициент концентрации давления в днищах моделей определен дифференцированно для первых и последних камер (табл. 3). Графики концентрации давления согласуются с показаниями реперов.

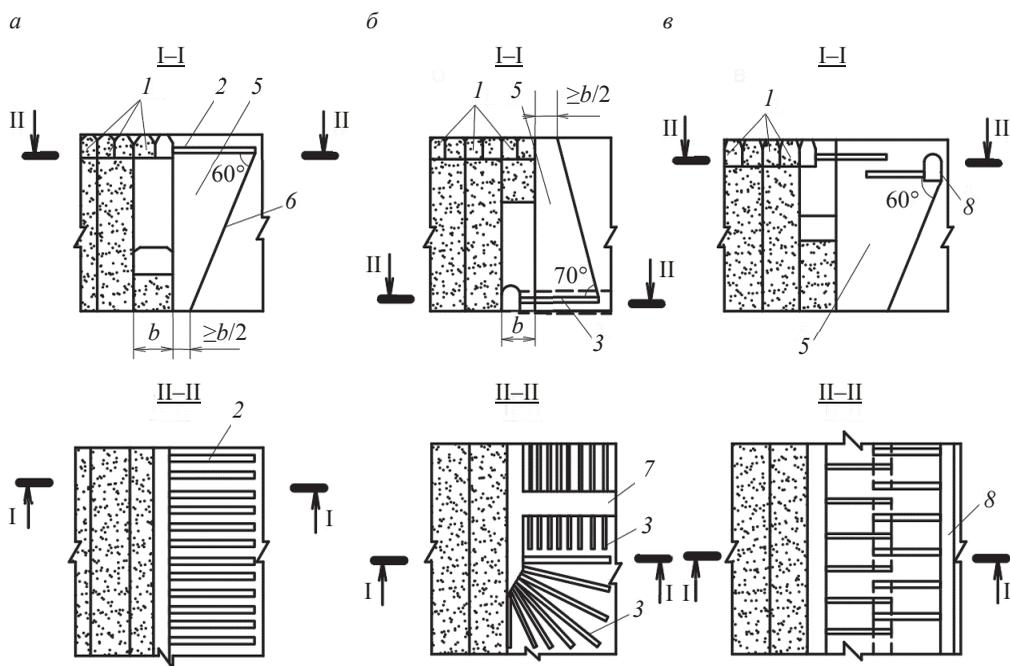


Рисунок 1. Разгрузка массива от напряжений: *a* – в кровле; *б* – в почве; *в* – в теле массива; 1 – выработки защитного слоя; 2, 3 – скважины; 4 – веерные скважины; 5 – защищенная зона; 6 – граница защищенной зоны; 7 – слоевой орт; 8 – транспортная выработка; *l* – ширина ленты
 Figure 1. Rock mass de-stressing: *a* – in the roof; *б* – in the soil; *в* – in the rock mass body; 1 – workings of the protective layer; 2, 3 – wells; 4 – fan wells; 5 – protected zone; 6 – border of the protected zone; 7 – layered ort; 8 – transport working; *b* – tape width

По результатам моделирования сделаны выводы:

– при выемке руд камерами с закладкой пустот твердеющими смесями без разгрузки напряжений максимальное оседание кровли над камерами составило 0,5 мм в моделях или 105 мм в пересчете на натуру, что согласуется с данными отработки месторождения;

– наименьшие значения напряжений и пригрузки отмечены при одностадийном порядке отработки блоков с разгрузкой массива опережающей выемкой слоя по почве залежи;

– варианты с разгрузкой массива по кровле и почве различаются на 20–30 %, что находится в пределах точности для исследований горного давления ввиду сложности проведения имитационных процессов;

– разгрузка по почве предпочтительнее, так как разгружается большая высота массива.

Геомеханические преимущества сплошного порядка отработки камер заключаются в следующем:

- равномерная загрузка массива снижает напряжения;
- обеспечивается плавная передача давления налегающей толщи пород на закладку;
- нормативная прочность твердеющей смеси снижается.

Таблица 2. Количественные значения смещения реперов, мм
Table 2. Benchmark shift values, mm

| Модель | Репер | | | | | | | | | |
|--------|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | 51 | 58 | 66 | 69 | 75 | 79 | 84 | 89 | 93 | 96 |
| 2 | 40 | 46 | 49 | 53 | 55 | 57 | 57 | 59 | 62 | 64 |
| 3 | 31 | 34 | 37 | 39 | 41 | 45 | 47 | 51 | 54 | 58 |
| 4 | 42 | 45 | 49 | 53 | 56 | 61 | 66 | 69 | 70 | 74 |
| 5 | 21 | 26 | 29 | 34 | 39 | 44 | 47 | 49 | 52 | 54 |
| 6 | 15 | 17 | 19 | 24 | 29 | 35 | 37 | 39 | 43 | 46 |

Таблица 3. Значения коэффициента концентрации давления в днищах модели
Table 3. Values of the pressure concentration coefficient at the bottoms of the model

| Блок | Камера | Модель | | | | | |
|------|--------|--------|------|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | № 1 | 0,20 | 0,16 | 0,15 | 0,15 | 0,14 | 0,14 |
| | № 2 | 0,23 | 0,19 | 0,17 | 0,18 | 0,16 | 0,15 |
| | № 3 | 0,20 | 0,22 | 0,20 | 0,21 | 0,19 | 0,17 |
| | № 4 | 0,28 | 0,25 | 0,21 | 0,21 | 0,20 | 0,17 |
| 2 | № 5 | 0,34 | 0,29 | 0,24 | 0,23 | 0,21 | 0,19 |
| | № 6 | 0,39 | 0,33 | 0,27 | 0,25 | 0,21 | 0,22 |
| | № 7 | 0,41 | 0,36 | 0,31 | 0,27 | 0,23 | 0,24 |
| | № 8 | 0,47 | 0,39 | 0,34 | 0,30 | 0,25 | 0,20 |
| 3 | № 9 | 0,55 | 0,45 | 0,37 | 0,32 | 0,27 | 0,22 |
| | № 10 | 0,64 | 0,49 | 0,40 | 0,34 | 0,33 | 0,26 |
| | № 11 | 0,69 | 0,53 | 0,45 | 0,37 | 0,37 | 0,35 |
| | № 12 | 0,75 | 0,56 | 0,51 | 0,45 | 0,44 | 0,41 |
| 4 | № 13 | 0,88 | 0,61 | 0,55 | 0,48 | 0,47 | 0,44 |
| | № 14 | 0,94 | 0,73 | 0,67 | 0,58 | 0,52 | 0,44 |
| | № 15 | 1,01 | 0,81 | 0,74 | 0,65 | 0,57 | 0,47 |
| | № 16 | 1,10 | 0,90 | 0,80 | 0,70 | 0,60 | 0,50 |

Сплошной порядок выемки обеспечивает отработку в более спокойном режиме, а вариант с предварительной защитой массивов позволяет реализовать резервы твердеющей закладки за счет ускорения введения в режим объемного сжатия.

Одно лишь применение сплошного порядка отработки камер не гарантирует устойчивости природных и искусственных массивов. Решающую роль в управлении массивом играет скорость создания условий объемного сжатия (табл. 4).

В заключительной части отработана модель с целью оценки связи между скоростью продвижения фронта очистных работ и темпами сдвижения налегающей толщи. Сдвижение породного массива при разных скоростях подработки по показаниям датчиков в днищах последних камер блоков приведено в табл. 5. Для этого вариант сплошной выемки с разгрузкой по почве дополнен вариантами, различающимися скоростью отработки камер. Ускорение выемки запасов на 30 % сопровождается увеличением темпов сдвижения, что можно объяснить снижением релаксационных способностей геоматериалов, которые не успевают разгрузаться от растягивающих напряжений.

Таблица 4. Результаты моделирования порядка отработки камер
Table 4. Results of modeling the order of chamber stoping sequence

| Параметр | Модель | | | | | |
|--------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| | <i>Сдвижение</i> | | | | | |
| Высота 15 см | 96 | 64 | 58 | 74 | 54 | 46 |
| Высота 60 см | 76 | 55 | 49 | 61 | 41 | 38 |
| | <i>Напряжения</i> | | | | | |
| В закладке | 1,1 | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,5 |
| В породах | 2,7 | 2,1 | 1,9 | 1,9 | 1,6 | 1,4 |

Таблица 5. Сдвижение породного массива, мм, при разных скоростях подработки
Table 5. Rock mass shift, mm, at different undermining speeds

| Вариант | Камера | | | |
|----------------|--------|------|------|------|
| | № 4 | № 8 | № 12 | № 16 |
| Базовый | 0,19 | 0,20 | 0,44 | 0,50 |
| Ускорение 15 % | 0,24 | 0,31 | 0,48 | 0,55 |
| Ускорение 30 % | 0,28 | 0,41 | 0,51 | 0,62 |

Результаты моделирования свидетельствуют, что варианты одно- и двухстадийной выемки различаются развитием геодинамических явлений.

Эффективность предложенных мероприятий по разгрузке массива от напряжений может быть оценена по нескольким критериям: снижение разубоживания руд породами, повышение извлечения при сохранении безопасных условий выемки руд, снижение травматизма отслаивающимися кусками пород, снижение потерь при сортировке и обогащении в хвостах переработки, улучшение экологии при сокращении объема хранилищ хвостов и др.

Аспекты данного направления горного дела рассмотрены в трудах зарубежных специалистов [13–17].

Заключение. Участки переменной мощности медистых руд Талнахских месторождений отличаются повышенными значениями тектонической нарушенности, хрупкости и склонности к удароопасности.

Максимальные напряжения развиваются при двухстадийной отработке залежей в местах временных и постоянных целиков и на участках изменения мощности рудных тел, где напряжения превышают средние значения в 2–3 раза.

Уровень напряжений снижается при сплошной выемке рудных тел с опережающей отработкой разгрузочных слоев по почве или по кровле, которые по эффективности управления массивом сравнимы при некотором преимуществе подработки по почве.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Голик В. И., Кожиев Х. Х., Качурин Н. М., Шамрин М. Ю. История и перспективы развития ресурсной базы // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2022. № 3. С. 121–132.
2. Валиев Н. Г., Пропп В. Д., Вандышев А. М. Кафедре горного дела УГГУ – 100 лет // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 8. С. 130–143.
3. Ловчиков А. В. Новая концепция механизма горно-тектонических ударов и других динамических явлений для условий рудных месторождений // Горные науки и технологии. 2020. № 5(1). С. 30–38.
4. Дзапаров В. Х., Харебов Г. З., Стась В. П., Стась П. П. Исследование сухих строительных смесей на основе отходов производства для подземного строительства // Сухие строительные смеси. 2020. № 1. С. 35–38.
5. Голик В. И., Баяр А. А. Технологии разработки участков переменной мощности месторождений Талнахского рудного района // Цветная металлургия. 2000. № 4. С. 17–20.
6. Габараев О. З., Зассеев И. А., Майстров Ю. А., Габараева А. О. Исследование процесса деформирования массива горных пород в предохранительном целике // Труды СКГМИ (ГТУ). 2021. № 28. С. 5–9.
7. Протосеня А. Г., Куранов А. Д. Методика прогнозирования напряженно-деформированного состояния горного массива при комбинированной разработке Коашвинского месторождения // Горный журнал. 2015. № 1. С. 17–20.
8. Белодедов А. А., Должиков П. Н., Легостаев С. О. Анализ механизма образования деформаций земной поверхности над горными выработками закрытых шахт // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2017. № 1. С. 160–169.
9. Zaalishvili V. B., Melkov D. A., Dzeranov B. V., Morozov F. S., Tuaeov G. E. Integrated instrumental monitoring of hazardous geological processes under the Kazbek volcanic center // International Journal of GEOMATE. 2018. No. 15(47). P. 158–163.
10. Баяр А. А., Голик В. И. Исследование напряженно-деформированного состояния массивов Талнахского рудного района // Цветная металлургия 2000. № 5-6. С. 7–10.
11. Габараев О. З., Абдулхалимов А. Г., Келексаев В. Б., Дзапаров В. Х. Методика расчета нагрузки на вновь возводимую крепь при реконструкции горных выработок // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. 2020. № 7. С. 54–58.
12. Качурин Н. М., Стась Г. В., Корчагина Т. В., Змеев М. В. Геомеханические и аэрогазодинамические последствия подработки территорий горных отводов шахт Восточного Донбасса // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2017. Вып. 1. С. 170–182.
13. Naithani A. K. Rock mass classification and support design using the Q-system // Journal of the Geological Society of India. 2019. Vol. 94. P. 443. DOI: 10.1007/s12594-019-1336-0
14. Fanzhen Meng, Gui Yuan Wang L., Hui Zhou. Rock brittleness indices and their applications to different fields of rock engineering: a review // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2021. Vol. 13. Iss. 1. P. 221–247. DOI: 10.1016/j.jrmge.2020.06.008
15. Sepehri M., Apel D. B., Adee S., Leveille P., Hall R. A. Evaluation of mining-induced energy and rockburst prediction at a diamond mine in Canada using a full 3D elastoplastic finite element model // Engineering Geology. 2020. Vol. 266. P. 105–117. DOI: 10.1016/j.enggeo.2019.105457
16. Li C. C. Dynamic rock support in burst-prone rock masses // Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses: Proceedings of the 2018 European Rock Mechanics Symposium. London: Taylor & Francis Group, 2018. Vol. 1. P. 47–62.
17. Huang P., Zhang J., Spearing A. J. S., Li M., Yan X., Liu S. Deformation response of roof in solid backfilling coal mining based on viscoelastic properties of waste gangue // International Journal of Mining Science and Technology. 2021. Vol. 31. No. 2. P. 279–289. DOI: 10.1016/j.ijmst.2021.01.004

Поступила в редакцию 20 февраля 2023 года

Сведения об авторах:

Голик Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры горного дела Северо-Кавказского государственного технологического университета. E-mail: v.i.golik@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1181-8452>

Валиев Нияз Гадым оглы – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой горного дела Уральского государственного горного университета, главный редактор издания «Известия вузов. Горный журнал». E-mail: gft.gd@m.ursmu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5556-2217>

Шарипзянова Гюзель Харрясовна – кандидат технических наук, доцент, проректор по учебной работе Московского политехнического университета. E-mail: guzel@mtw.ru; <https://orcid.org/1560-3644-2023-2-00-00>

Келексаев Валерий Борисович – кандидат технических наук, начальник строительной лаборатории Южно-Российского государственного политехнического университета. E-mail: kelias2022@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0004-6908-9418>

DOI: 10.21440/0536-1028-2023-5-29-37

Controlling the state of stressed and strained rock masses by means of de-stressing

Vladimir I. Golik¹, Niiaz G. Valiev², Giuzel Kh. Sharipzianova³, Valerii B. Kelekhsaev⁴

¹ North Caucasian State Technological University, Vladikavkaz, Russia.

² Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia.

³ Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia.

⁴ Platov South-Russian State Polytechnic University, Novocherkassk, Russia.

Abstract

Research subject and objective. The behaviour of stressed and strained rock masses was studied as well as the conditions of their geomechanical balance under technogenic intervention in the course of underground mining. The research results are presented. The research relevance is explained by high demand in metals and the inability of traditional technologies to meet the demand.

Research novelty is viewed as the concurrent examination of competing processes of de-stressing under equal conditions of a single model, which increases the research data accuracy.

Methods of research involve the literary sources analysis, theoretical and natural research, process modeling, and experiments. The patterns of rock masses behavior are formulated, their balance conditions are developed and control parameters optimized. Suggestions on the control technology optimization are considered.

Research results. It is shown that goaf backfilling with hardening mixtures is the means of redistributing stresses in the rock mass. It is justified that de-stressing by means of advanced cutting of layers along the soil or roof of ore deposits is a promising way of rock mass state control. The paper presents the results of modeling the state of stressed and strained rock mass in the course of continuous mining and two-stage extraction of ore with rock mass overworking and underworking. Minimum displacements were recorded during a single-stage excavation with de-stressing along the soil. The advantages of a continuous sequence of chamber stoping are determined, such as stress reduction, smooth pressure transfer and the possibility of reducing the normative strength of mixtures.

Scope of the results. The technology can be relevant for complex structure deposits development, mainly valuable ores, by underground method.

Conclusions. The level of stresses acting in rock masses decreases with ore bodies continuous mining advanced cutting of relief layers along the soil or over the roof.

Keywords: geomechanics; underground mining; ore mining; stresses; de-stressing; advanced cutting; sequence of chamber stoping.

REFERENCES

1. Golik V. I., Kozhiev Kh. Kh., Kachurin N. M., Shamrin M. Iu. History and prospects of resource base development. *Izvestia Tul'skogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle = Proceedings of the Tula State University. Earth Sciences.* 2022; 3: 121–132. (In Russ.)
2. Valiev N. G., Propp V. D., Vandyshv A. M. The 100th anniversary of the department of mining engineering of UrSMU. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal.* 2020; 8: 130–143. (In Russ.)
3. Lovchikov A. V. A new concept of the mechanism of rock-tectonic bursts and other dynamic phenomena in conditions of ore deposits. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia).* 2020; 5(1): 30–38. (In Russ.)
4. Dzaparov V. Kh., Kharebov G. Z., Stas V. P., Stas P. P. Research of drymixtures based on production waste for underground construction. *Sukhie stroitelnye smesi = Dry Building Mixes.* 2020; 1: 35–38. (In Russ.)
5. Golik V. I., Baiar A. A. Reservoir management plans for the zones of variable thickness of the Talnakh ore district deposits. *Tsvetnaia metallurgiya = Non-Ferrous Metallurgy.* 2000; 4: 17–20. (In Russ.)

6. Gabaraev O. Z., Zasseev I. A., Maistrov Iu. A., Gabaraeva A. O. Study of the process of rock mass deformation in the stope. *Trudy SKGMI (GTU) = Proceedings of the North Caucasian Mining Metallurgical Institute (State Technological University)*. 2021; 28: 5–9. (In Russ.)
7. Protosenia A. G., Kuranov A. D. Procedure of rock mass stress-strain state forecasting in hybrid mining of the Koashvin deposit. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2015; 1: 17–20. (In Russ.)
8. Belodedov A. A., Dolzhikov P. N., Legostaev S. O. Analyzing mechanism of forming earth surface deformations over liquidated mines mining workings. *Izvestiia Tul'skogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle = Proceedings of the Tula State University. Earth Sciences*. 2017; 1: 160–169. (In Russ.)
9. Zaalishvili V. B., Melkov D. A., Dzeranov B. V., Morozov F. S., Tuaeov G. E. Integrated instrumental monitoring of hazardous geological processes under the Kazbek volcanic center. *International Journal of GEOMATE*. 2018; 15(47): 158–163.
10. Baiar A. A., Golik V. I. Studying the stress-strain state of the Talnakh ore district rock masses. *Tsvetnaia metallurgii = Non-Ferrous Metallurgy*. 2000; 5-6: 7–10.
11. Gabaraev O. Z., Abdulkhalimov A. G., Kelekhsaev V. B., Dzaparov V. Kh. Procedure for calculation of load on newly erected support during reconstruction of mine workings. *Transportnoe, gornoe i stroitel'noe mashinostroenie: nauka i proizvodstvo = Transport, Mining and Construction Engineering: Science and Production*. 2020; 7: 54–58. (In Russ.)
12. Kachurin N. M., Stas G. V., Korchagina T. V., Zmeev M. V. Geomechanical and aerogasdynamic consequences of underworking mining leases territories of Eastern Donets basin mines. *Izvestiia Tul'skogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle = Proceedings of the Tula State University. Earth Sciences*. 2017; 1: 170–182. (In Russ.)
13. Naithani A. K. Rock mass classification and support design using the Q-system. *Journal of the Geological Society of India*. 2019; 94: 443. Available from: doi: 10.1007/s12594-019-1336-0
14. Fanzhen Meng, Gui Yuan Wang L., Hui Zhou. Rock brittleness indices and their applications to different fields of rock engineering: a review. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2021; 13(1): 221–247. Available from: doi: 10.1016/j.jrmge.2020.06.008
15. Sepehri M., Apel D. B., Adee S., Leveille P., Hall R. A. Evaluation of mining-induced energy and rockburst prediction at a diamond mine in Canada using a full 3D elastoplastic finite element model. *Engineering Geology*. 2020; 266: 105–117. Available from: doi: 10.1016/j.enggeo.2019.105457
16. Li C. C. Dynamic rock support in burst-prone rock masses. In: *Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses: Proceedings of the 2018 European Rock Mechanics Symposium*. 2018; 1: 47–62.
17. Huang P., Zhang J., Spearing A. J. S., Li M., Yan X., Liu S. Deformation response of roof in solid backfilling coal mining based on viscoelastic properties of waste gangue. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2021; 31(2): 279–289. Available from: doi: 10.1016/j.ijmst.2021.01.004

Received 19 February 2023

Information about the authors:

Vladimir I. Golik – DSc (Engineering), Professor, professor of the Department of Mining, North Caucasian State Technological University. E-mail: v.i.golik@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1181-8452>

Niiaz G. Valiev – DSc (Engineering), Professor, Head of the Department of Mining, Ural State Mining University, Editor in Chief of Minerals and Mining Engineering. E-mail: gfg.gd@m.ursmu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5556-2217>

Giuzel Kh. Sharipzianova – PhD (Engineering), Associate Professor, vice-rector for education, Moscow Polytechnic University. E-mail: guzel@mtw.ru; <https://orcid.org/1560-3644-2023-2-00-00>

Valerii B. Kelekhsaev – PhD (Engineering), Head of the Construction Technology Laboratory, Platov South-Russian State Polytechnic University. E-mail: keliast2022@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0004-6908-9418>

Для цитирования: Голик В. И., Валиев Н. Г., Шарипзянова Г. Х., Келекхсаев В. Б. Управление состоянием напряженно-деформированных массивов разгрузкой от напряжений // Известия вузов. Горный журнал. 2023. № 5. С. 29–37. DOI: 10.21440/0536-1028-2023-5-29-37

For citation: Golik V. I., Valiev N. G., Sharipzianova G. Kh., Kelekhsaev V. B. Controlling the state of the stressed and strained rock masses by means of de-stressing. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = Minerals and Mining Engineering*. 2023; 5: 29–37 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2023-5-29-37