

УДК 622.831.32

А. В. Ловчиков, А. В. Земцовский

Профилактика горных ударов в низких рудных целиках посредством образования разгрузочных щелей (для условий Ловозерского редкометалльного месторождения)

Ловозерский ГОК, разрабатывающий Ловозерское месторождение редких металлов, является единственным поставщиком сырья для редкометалльной промышленности России. Глубина горных работ на месторождении (600 м) постепенно возрастает и должна достигнуть 900 м. Месторождение отнесено Ростехнадзором РФ к разряду склонных и опасных по горным ударам с глубины 400 м от поверхности. С увеличением глубины возрастает опасность горных ударов в поддерживающих толщу пород опорных целиках, для которых должны быть определены соответствующие меры профилактики удароопасности. В ходе исследования рассмотрена проблема распределения напряжений в удароопасных околоштрековых целиках с разгрузочными щелями для условий Ловозерского месторождения, являющегося тектонически высоконапряженным; представлен вариант профилактики удароопасности в целиках посредством образования разгрузочных щелей в боках выработки, с помощью которых концентрация напряжений переносится с контура выработки вглубь целика. Образование щелей ослабляет несущую способность целиков. Однако образование разгрузочных щелей создает условия для работы средней части целиков при объемном сжатии, вследствие чего несущая способность целиков повышается. Анализ увеличения прочности целиков при работе в условиях объемного сжатия произведен с использованием коэффициента формы (определяется по формуле Е. Церна). Полученные данные свидетельствуют о том, что в низких широких целиках, которые оконтуриваются на глубинах свыше 500–550 м, ослабляющее действие щелей нивелируется за счет формы целиков. В процессе разработки мер профилактики удароопасности выполнены расчеты удельной несущей способности целиков с разгрузочными щелями и без щелей при их расположении на глубинах до 900 м от поверхности для условий рудника "Карнасурт", на котором планируется добыча руд в ближайшие годы.

Ключевые слова: целики, горные удары, щели, несущая способность, коэффициент Церна, возрастание глубины

Информация о статье: поступила в редакцию 15.10.2018; получена после доработки 25.02.2019

Введение

Ловозерское редкометалльное месторождение представлено свитой маломощных и средней мощности пластообразных пологопадающих рудных залежей, расположенных в массиве крепких скальных пород. Рудник "Карнасурт", эксплуатирующий месторождение, разрабатывает две согласно залегающие пологопадающие (угол падения 10–12° к горизонту) рудные залежи, каждая мощностью 1,2 м, разделенные породным слоем толщиной 90–110 м. Прочность руд и пород при сжатии составляет 160–330 МПа [1]. Специфика горно-геологических условий месторождения предопределяет камерно-целиковую систему разработки с поддержанием покрывающих пород целиками. Дополнительными условиями месторождения являются высокая тектоническая напряженность массива и удароопасность пород. Участки шахтного поля рудника "Карнасурт" с глубины 400 м от поверхности отнесены Ростехнадзором РФ к опасным по горным ударам. Горизонтальные тектонические напряжения на шахтном поле рудника имеют величину 40–60 МПа и в пределах достигнутых глубин разработки в 4–6 раз превышают гравитационные напряжения от веса толщи покрывающих пород. Целью исследования является определение профилактических мер, обеспечивающих безопасность горных выработок по фактору горных ударов.

Материалы и методы

Протяженность шахтного поля рудника "Карнасурт" по простиранию нижней залежи составляет около 7 км и вкрест простирания – 1,3 км.

Схематический вертикальный поперечный разрез рудника (вкрест простирания рудных залежей) приведен на рис. 1. В верхней части рудные залежи выходят на поверхность, а в нижней – уходят в глубину массива. По вертикали рудные залежи через 20–40 м разделяются на очистные панели, ограничиваемые откаточными штреками, поддерживаемые ленточными надштрековыми и подштрековыми целиками. Технология и параметры выемки на обеих отрабатываемых залежах одинаковы. В силу этих обстоятельств рассматривается напряженное состояние и удароопасность целиков только на одной залежи. Ширина панелей в прежние периоды составляла 40–70 м, в настоящее время – от 120–150 до 300 м. Панели в направлении простирания рудных залежей разделяются на очистные блоки шириной 60–120 м. Очистные

блоки представляют собой слабонаклонные камеры длиной 120–150 м (до 300 м) по падению, шириной 60–120 м по простиранию залежей и высотой 1,2 м, которые по периметру поддерживаются опорными ленточными целиками (околоштрековыми и междублоковыми) шириной 4–10 м. Внутри кровля очистных камер поддерживается податливыми внутриблоковыми целиками размером (1–2) × (2–4) м (высотой 1,2 м), оставляемыми с интервалом 6–15 м друг от друга [2]. Поскольку внутриблоковые целики малых размеров являются наиболее опасными элементами системы с точки зрения проявления в них горных ударов, все внутриблоковые целики разгружаются при помощи строчек разгрузочных скважин. Эта мера профилактики горных ударов оказалась эффективной, поскольку ни одного случая горных ударов во внутриблоковых целиках не зафиксировано. При расчете несущей способности опорных целиков прочность ослабленных щелями внутриблоковых целиков не учитывается.

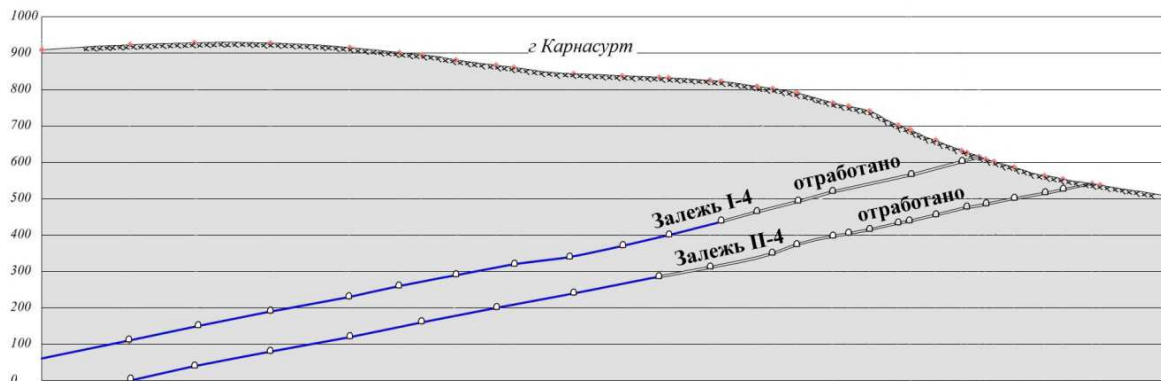


Рис. 1. Схематический вертикальный поперечный разрез рудника "Карнасурт"
Fig. 1. Schematic vertical cross section of the Karnasurt mine

Наиболее ответственными выработками являются откаточные штреки, которые проходят по рудному телу и по которым передвигаются люди, производится транспортировка руды и грузов, осуществляется проветривание выработок. Штреки по восстанию и падению залежи ограждаются от очистного пространства камер ленточными целиками шириной 3–10 м (рис. 2), длина которых достигает 7 км. Надштрековый и подштрековый целики являются основными опорными элементами, на которых держится вес толщи покрывающих пород. Поскольку по штрекам передвигаются люди и техника, их стенки и кровля не должны быть подвержены динамическим проявлениям горного давления и должны быть освобождены от повышенных напряжений. Площадь целиков рассчитывается по методу Турнера – Шевякова с учетом полного веса толщи покрывающих пород. Ширина (площадь) опорных околоштрековых целиков (в соответствии с указанным расчетным принципом Турнера – Шевякова) увеличивается с ростом глубины разработки. Уже в текущий момент, когда глубина отработки не превышает 500–600 м, уровень потерь руды в целиках достигает 25 %. В дальнейшем глубина отработки должна увеличиться до 800–900 м, следовательно, потери руды в целиках, наряду с увеличением удароопасности, должны еще более возрасти.

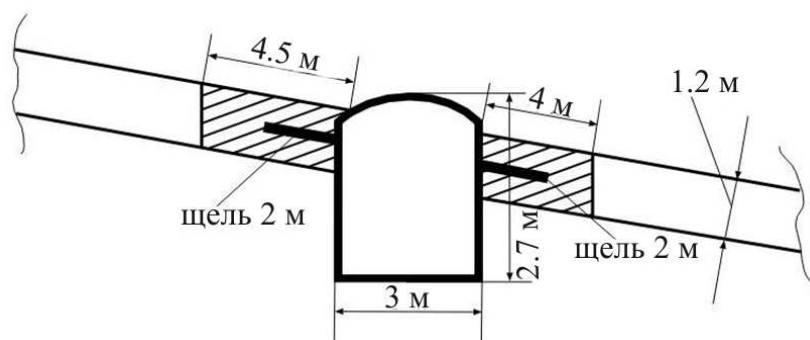


Рис. 2. Расположение разгрузочных щелей в околоштрековых целиках
Fig. 2. Location of relieve slots in chain entry pillars

В нормативных документах¹ для профилактики удароопасности в краевых зонах массива или целиках рекомендуется создавать защитные зоны шириной не менее 2 м с помощью камуфлетного взрывания, образования разгрузочных скважин, щелей, полостей или сочетания этих способов. Исследовалось напряженное состояние околоштрековых целиков при создании в них разгрузочных щелей (рис. 2) для условий рудника "Карнасурт". Задача решалась методом математического моделирования (методом конечных элементов) в плоской (двухмерной) постановке [3]; моделировался плоский вертикальный поперечный разрез двух очистных панелей рудника "Карнасурт" (каждая длиной 70 м) по падению рудной залежи, разделенных штреком и околоштрековыми целиками на глубине 400 м от поверхности. Геометрическая схема и граничные условия модели приведены на рис. 3.

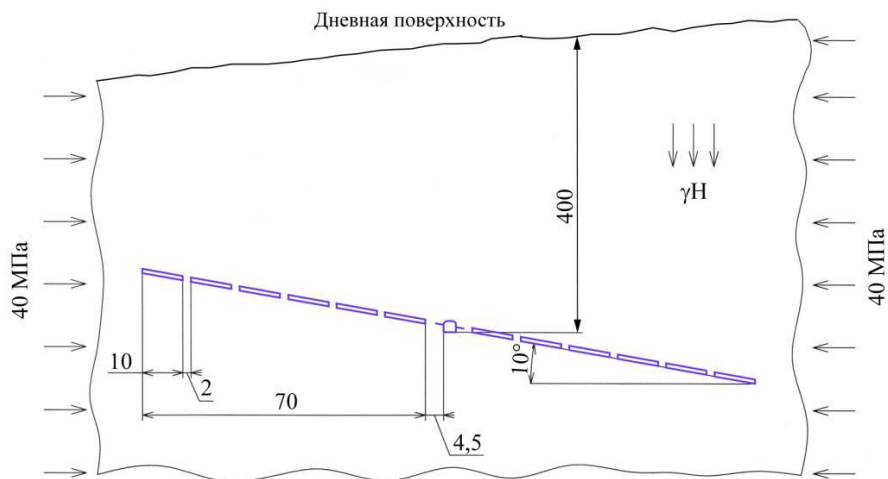


Рис. 3. Геометрическая схема и граничные условия задач о напряженном состоянии целиков с разгрузочными щелями
Fig. 3. Geometrical scheme and boundary conditions of the tasks on stress state of pillars with relieve slots

Геометрические параметры околоштрековых целиков, штреков, разгрузочных щелей, используемые в процессе моделирования, представлены на рис. 2. Значения ширины околоштрековых целиков (для глубины $H = 400$ м) получены в ходе расчета: надштрековый целик – 4,5 м; подштрековый – 4,0 м. Внутриблоковые целики приняты в модели равными по ширине (2 м), расстояние между ними 10 м. Условия нагружения таковы: в вертикальном направлении – действие собственного веса пород с боковым отпором $\sigma_v = \gamma H$, где γ – объемный вес пород ($\gamma = 2,7$ т/м³, $H = 400$ м); в горизонтальном направлении – равномерно распределенные по глубине сжимающие тектонические напряжения ($T = -40$ МПа). В ходе расчета учитывались свойства массива пород и целиков: удельный вес пород $\gamma = 2,7$ т/м³; модуль Юнга $E = 6 \cdot 10^4$ МПа, коэффициент поперечных деформаций $\nu = 0,25$; прочность при сжатии $\sigma_c = 160$ МПа. Свойства внутриблоковых целиков, которые подвергаются, как отмечено выше, искусственному повышению податливости, приняты на порядок ниже, чем в массиве: $E = 6 \cdot 10^3$ МПа; коэффициент поперечных деформаций $\nu = 0,5$.

Результаты и обсуждение

Распределение вертикальных и горизонтальных напряжений в целиках со щелями показано на рис. 4, а и б. На рисунке проиллюстрировано целевое назначение щелей по разгрузке контура выработки от напряжений: на стенках штрека горизонтальные и вертикальные напряжения равны нулю, т. е. контур стенок штрека полностью разгружен. В кровле и почве штрека горизонтальные напряжения имеют величину 40–45 МПа, что в три раза ниже предела прочности пород, а вертикальные напряжения имеют вообще незначительную величину. Вертикальные и горизонтальные напряжения перенесены вглубь целика, к концам щелей (рис. 4, а), где они достигают величин 105–135 МПа. Разрушение пород вблизи концов разгрузочных щелей локально и вполне допустимо (так как не касается контура штрека), в целом же целик обладает достаточной прочностью. В промежутках между концами щелей и границей очистного пространства (кроме

¹ Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. Положение по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам : утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 2.12.2013 г., № 576. URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70534076/>.

самых контуров) уровень напряжений (вертикальных и горизонтальных) составляет $55 \div 70$ МПа, что в два раза ниже предела прочности пород; т. е. прочность и устойчивость околострековых целиков обеспечивается.

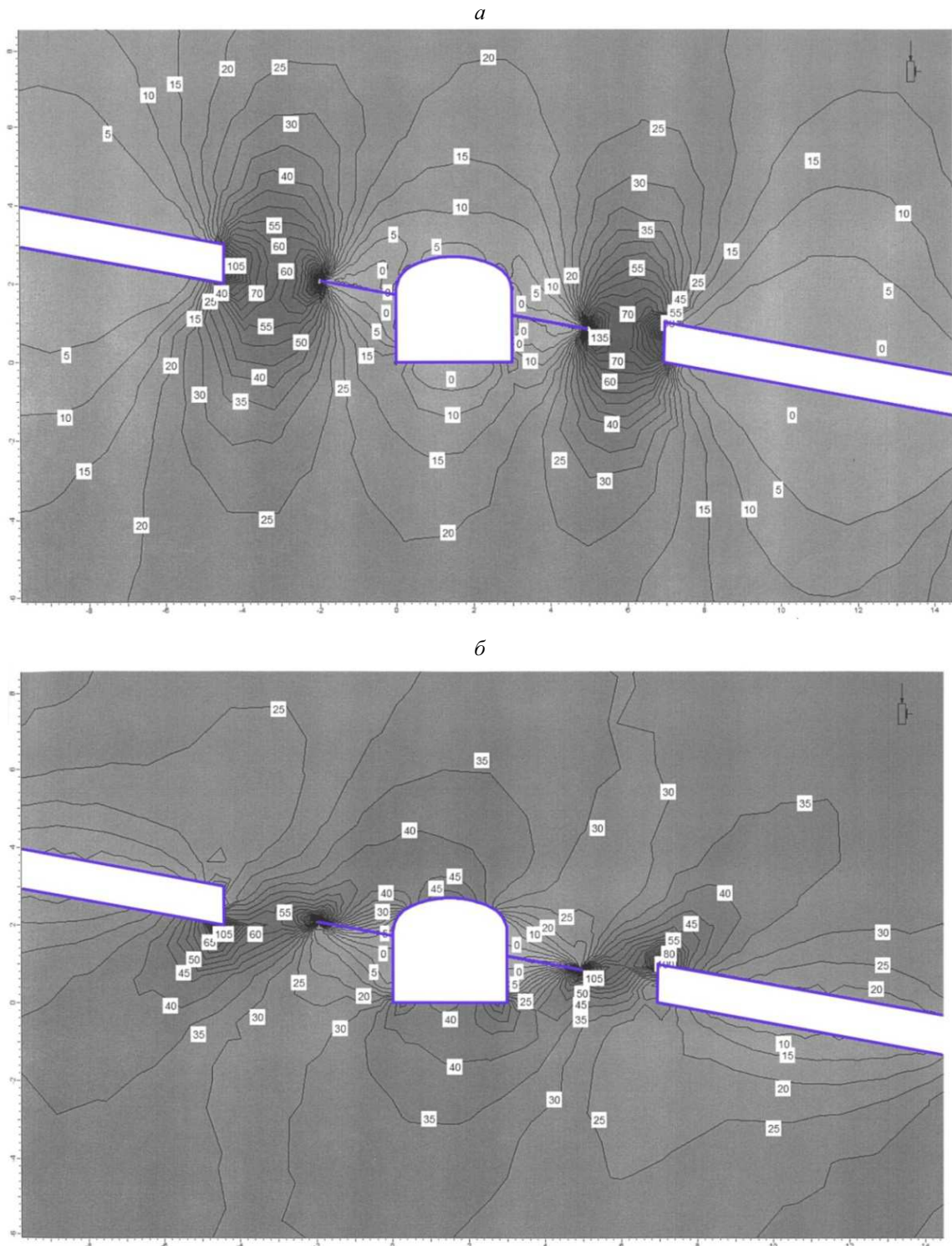


Рис. 4. Распределение вертикальных (*a*) и горизонтальных (*б*) напряжений в околострековых целиках с разгрузочными щелями

Fig. 4. Distribution of vertical (*a*) and horizontal (*b*) stresses in chain entry pillars with relieve slots

Создание разгрузочных щелей, безусловно, снижает несущую способность целиков. Оценим для случая, изображенного на рис. 2, степень снижения несущей способности и остаточную несущую способность целиков со щелями. Сначала оценим влияние щели на несущую способность надштрекового целика. Надштрековый ленточный целик на глубине 400 м имеет ширину 4,5 м, высоту 1,2 м (со стороны очистного

пространства); расположение его в вертикальном поперечном разрезе показано на рис. 2. Если считать, что материал целика в щели, имеющий ширину 2 м (рис. 2), не может нести никакой нагрузки, то несущая часть ширины целика составит 2,5 м. Несущую способность околоштрековых целиков следует рассчитывать без учета коэффициента формы k_ϕ (ввиду неправильной формы этих целиков). Таким образом, удельная несущая способность надштрекового целика без щели определяется по формуле²

$$R_{ц}^н = \sigma_{сж} d, \quad (1)$$

где $R_{ц}^н$ – удельная несущая способность 1 метра надштрекового целика, т/м; $\sigma_{сж}$ – сопротивление пород целика на сжатие, т/м²; d – ширина целика, м.

При $\sigma_{сж} = 16\,000$ т/м² и $d = 4,5$ м удельная несущая способность целика $R_{ц}^н = 72\,000$ т/м.

Если в целике создать близгоризонтальную щель (рис. 2), он со всех сторон будет отвечать требованиям низкого целика, поскольку соотношение его сторон $d/h > 1$, вследствие чего к такому целику применимо понятие коэффициента формы, рассчитываемого по формуле Е. Церна [4]:

$$k_\phi = \sqrt{\frac{d}{h}}. \quad (2)$$

В рассматриваемом случае при ширине несущей части целика 2,5 м $k_\phi = \sqrt{\frac{2,5}{1,2}} = 1,44$.

Удельная несущая способность такого целика рассчитывается по формуле

$$R_{щц}^н = \sigma_{сж} d k_\phi, \quad (3)$$

где $R_{щц}^н$ – удельная несущая способность 1 метра надштрекового целика со щелью, т/м; d – ширина несущей части целика, м.

Удельная несущая способность надштрекового целика со щелью на глубине 400 м от поверхности составит $R_{щц}^н = 16\,000 \cdot 2,5 \cdot 1,44 = 57\,700$ т/м, т. е. она всего на 20 % меньше удельной несущей способности целика без щели. Иными словами, создание разгрузочной щели в надштрековом целике незначительно отразится на его несущей способности.

Оценим несущую способность подштрекового целика со щелью на той же глубине (рис. 2). Этот ленточный целик имеет ширину 4 м, высоту со стороны очистной выработки 1,2 м. Если создать в нем близгоризонтальную щель шириной 2 м, то удельная несущая часть целика составит 2 м. Оставшаяся часть целика (кроме щели) шириной 2 м тоже удовлетворяет условиям низкого целика ($d = 2$ м, $d/h = 1,7$). Сравним несущую способность рассматриваемого подштрекового целика без щели и со щелью. Удельная несущая способность целика без щели равна

$$R_{ц}^н = \sigma_{сж} d, \quad (4)$$

где $R_{ц}^н$ – удельная несущая способность 1 метра подштрекового целика без щели, т/м.

Тогда при $\sigma_{сж} = 16\,000$ т/м², $d = 4$ м удельная несущая способность подштрекового целика на глубине 400 м составит $R_{ц}^н = 64\,000$ т/м.

При создании щели шириной 2 м удельная ширина несущей части целика составит 2 м. Оставшаяся часть целика удовлетворяет условиям низкого целика ($d/h = 1,7$). Для такого целика коэффициент формы, рассчитываемый по формуле (2), составит $k_\phi = \sqrt{1,7} = 1,3$. Удельная несущая способность подштрекового целика со щелью рассчитывается так:

$$R_{щц}^н = \sigma_{сж} d k_\phi, \quad (5)$$

где $R_{щц}^н$ – удельная несущая способность 1 метра подштрекового целика со щелью, т/м. Величина остаточной удельной несущей способности целика, вычисленная по формуле (5), для глубины 400 м составит $R_{щц}^н = 41\,600$ т/м. Таким образом, образование щели в подштрековом целике в рассматриваемом случае на 35 % ослабляет его несущую способность.

Оценим по тем же формулам (1)–(5) степень ослабления околоштрековых целиков за счет разгрузочных щелей на нижних горизонтах рудника "Карнасурт", предполагая, что такие разгрузочные мероприятия нужно будет выполнять на всех склоновых и опасных по горным ударам участках шахтного поля. При этом будем полагать, что на всех горизонтах разгрузка целиков будет осуществляться посредством создания в них разгрузочных щелей шириной 2 м. За счет создания таких щелей максимум концентрации

² Влияние угла падения залежи и трещиноватости массива, которое в рассматриваемом случае играет малозаметную роль, в данной формуле не учитывается.

напряжений переносится с контура штрека (от его стенок или кровли) вглубь целика, вследствие чего динамические проявления горного давления на контуре целиков становятся невозможными. Ширина целиков со щелями рассчитывается по формуле

$$\left. \begin{aligned} d_{\text{щ}}^n &= d_{\text{ц}}^n - 2 \\ d_{\text{щ}}^n &= d_{\text{ц}}^n - 2 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где $d_{\text{ц}}^n$, $d_{\text{щ}}^n$ – ширина подштрекового и надштрекового целиков без щелей, м; $d_{\text{щ}}^n$, $d_{\text{щ}}^n$ – ширина оставшихся (за исключением ширины щелей) частей подштрековых и надштрековых целиков, м.

Расчет удельной несущей способности надштрековых целиков на глубине от 400 до 900 м от поверхности приведен в табл. 1.

Таблица 1. Расчет удельной несущей способности ленточных надштрековых целиков с разгрузочными щелями и без щелей для глубин отработки свыше 400 м от поверхности

Table 1. Calculation of specific bearing capacity of chain drift pillars with and without relieve slots for mining depth more 400 m

Глубина, м \ Целик	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
$d_{\text{ц}}^n$, м	4,5	5	5,3	5,7	6	6,3	6,5	7	7,2	7,5	7,7
$d_{\text{щ}}^n$, м	2,5	3	3,3	3,7	4	4,3	4,5	5	5,2	5,5	5,7
k_{ϕ}	1,4	1,6	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	2,0	2,1	2,1	2,2
$R_{\text{щ}}^n$, т/м	57 700	76 800	89 760	106 560	115 200	130 720	136 800	160 000	174 720	184 800	200 640
$R_{\text{ц}}^n$, т/м	72 000	80 000	84 800	91 200	96 000	100 800	104 000	112 000	115 200	120 000	123 200

Как видно из табл. 1, на глубине свыше 400 м от поверхности при возрастании ширины целиков от 5 м (при их высоте $h = 1,2$ м) за счет коэффициента формы k_{ϕ} , свидетельствующего о работе центральной части целиков в условиях объемного сжатия, несущая способность целиков со щелями не снижается, а возрастает, т. е. применение разгрузочных щелей при указанных параметрах целиков и щелей не снижает их несущей способности. Это дает возможность выбора в процессе применения разгрузочных мероприятий: если на каких-то участках штреков наблюдаются динамические проявления горного давления, то разгрузочные мероприятия следует применять, если такие явления отсутствуют, то в их применении нет необходимости.

Аналогичные расчеты удельной несущей способности сделаны для подштрековых целиков с применением и без применения разгрузочных щелей для глубин отработки свыше 400 м от поверхности (табл. 2).

Таблица 2. Расчет удельной несущей способности ленточных подштрековых целиков с разгрузочными щелями и без щелей для глубин отработки свыше 400 м от поверхности

Table 2. Calculation of specific bearing capacity of chain drift pillars with and without relieve slots for mining depth more 400 m

Глубина, м \ Целик	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
$d_{\text{ц}}^n$, м	4,0	4,5	4,7	5,3	5,5	5,7	6,0	6,5	6,8	7,0	7,3
$d_{\text{щ}}^n$, м	2,0	2,5	2,7	3,3	3,5	3,7	4,0	4,5	4,8	5,0	5,3
k_{ϕ}	1,3	1,4	1,5	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	2,0	2,0	2,2
$R_{\text{щ}}^n$, т/м	41 600	56 000	64 800	89 760	95 200	106 560	115 200	136 800	153 600	160 000	186 560
$R_{\text{ц}}^n$, т/м	64 000	72 000	75 200	84 800	88 000	91 200	96 000	104 000	108 800	112 000	116 800

Как видно из табл. 2, в подштрековых целиках на глубине свыше 550 м от поверхности тоже наблюдается увеличение несущей способности с увеличением их ширины за счет возрастания области в центральной части целиков, работающей в условиях объемного напряженного состояния.

В соответствии с расчетным принципом Турнера – Шевякова [5] с увеличением глубины растет ширина (площадь) поддерживающих целиков, а следовательно, растет их несущая способность. В рассматриваемом случае с учетом условий рудника "Карнасурт" для удароопасных участков месторождения (глубина свыше

400 м от поверхности) по данным табл. 1 и 2 построены графики зависимости ширины надштрековых и подштрековых целиков от глубины разработки (рис. 5). Как видно из рис. 5, с ростом глубины увеличивается ширина целиков, как не ослабленных щелями, так и целиков со щелями. Однако ширина целиков со щелями с глубины 500–550 м имеет меньшую величину, чем ширина целиков без щелей. Указанное обстоятельство, кажущееся на первый взгляд парадоксальным, обусловлено существующими методами оценки прочности низких рудных целиков (соотношение $d/h > 1$) с помощью коэффициента формы, рассчитываемого по формуле Е. Церна. В настоящее время отсутствуют методы оценки прочности целиков неправильной формы, в частности тех, у которых размеры разных сторон неодинаковы. Проблема определения критериев прочности таких целиков требует дальнейших исследований.

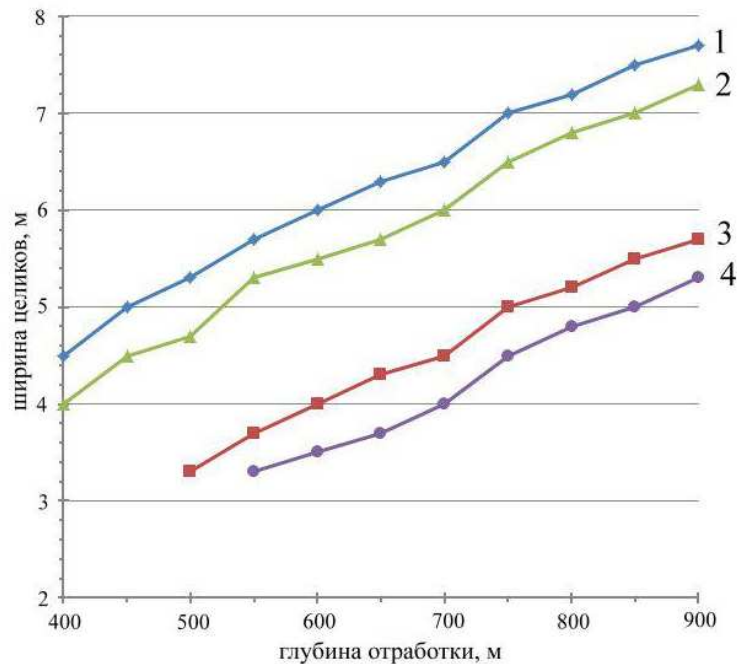


Рис. 5. Графики зависимости ширины околоштрековых целиков от глубины разработки:

- 1 – надштрековый целик; 2 – подштрековый целик; 3 – надштрековый целик с разгрузочной щелью; 4 – подштрековый целик с разгрузочной щелью

Fig. 5. Dependency graph of drift pillar size and mining depth:

- 1 – entry pillar; 2 – arch pillar; 3 – entry pillar with relieve slot; 4 – arch pillar with relieve slot

Заключение

Создание разгрузочных щелей в околоштрековых целиках является эффективным способом профилактики горных ударов при увеличении глубины горных работ на Ловозерском месторождении. Данный способ позволяет перенести пик концентрации напряжений с контура откаточных выработок вглубь целиков. Исходя из геометрических особенностей целиков ($d/h > 1$, где d – ширина, а h – высота целиков), можно сделать вывод о том, что на глубине свыше 400 м от поверхности применение щелей способствует сокращению потерь руды в целиках, так как породы внутри целиков работают в условиях объемного сжатия и их несущая способность при этом повышается.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-05-00563.

Библиографический список

1. Козырев А. А., Панин В. И., Иванов В. И. [и др.] Управление горным давлением в тектонически напряженных массивах = Rock pressure control in tectonically stressed rock masses : монография : в 2 ч. / под ред. М. В. Курлени. Апатиты : КНЦ РАН, 1996. Ч. 2. 162 с.
2. Ловчиков А. В., Наливайко А. С. Применение податливых внутриблоковых целиков в очистных выработках на руднике "Карнасурт" // Горный журнал. 2002. № 1. С. 37–39.
3. Амосин Б. З., Фадеев А. Б. Метод конечных элементов при решении задач горной геомеханики. М. : Недра, 1975. 142 с.
4. Галаев Н. З. Управление состоянием массива горных пород при подземной разработке рудных месторождений. М. : Недра, 1990. 176 с.

5. Макаров А. Б. Практическая геомеханика. Пособие для горных инженеров = Practical rock mechanics. Manual for mining engineers. М. : Горная книга, 2006. 391 с.

References

1. Kozyrev A. A., Panin V. I., Ivanov V. I. [i dr.] Upravleniye gornym davleniyem v tektonicheski napryazhennykh massivakh [Rock pressure control in tectonically stressed rock masses] : monografiya : v 2 ch. / pod red. M. V. Kurleni. Apatity : KNTS RAN, 1996. Ch. 2. 162 p.

2. Lovchikov A. V., Nalivayko A. S. Primeneniye podatlivykh vnutriblokovykh tselikov v ochistnykh vyrabotkakh na rudnike "Karnasurt" [The use of yield intrablock pillars in the stoping excavations at the Karnasurt mine] // Gornyy zhurnal. 2002. N 1. P. 37–39.

3. Amusin B. Z., Fadeyev A. B. Metod konechnykh elementov pri reshenii zadach gornoy geomekhaniki [The finite element method in rock mechanics]. М. : Nedra, 1975. 142 p.

4. Galayev N. Z. Upravleniye sostoyaniyem massiva gornykh porod pri podzemnoy razrabotke rudnykh mestorozhdeniy [Control of the rock mass state in underground mining]. М. : Nedra, 1990. 176 p.

5. Makarov A. B. Prakticheskaya geomekhanika Posobiye dlya gornykh inzhenerov [Practical rock mechanics. Manual for mining engineers]. М. : Gornaya kniga, 2006. 391 p.

Сведения об авторах

Ловчиков Александр Васильевич – ул. Ферсмана, 24, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Горный институт КНЦ РАН, д-р техн. наук, вед. науч. сотрудник; e-mail: vocson@goi.kolasc.net.ru

Lovchikov A. V. – 24, Fersmana Str., Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Mining Institute KSC RAS, Dr of Tech. Sci., Leading Researcher; e-mail: vocson@goi.kolasc.net.ru

Земцовский Александр Васильевич – ул. Ферсмана, 24, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Горный институт КНЦ РАН, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник; e-mail: zemtsovskiy@yandex.ru

Zemtsovskiy A. V. – 24, Fersmana Str., Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Mining Institute KSC RAS, Cand. of Tech. Sci., Senior Researcher; e-mail: zemtsovskiy@yandex.ru

A. V. Lovchikov, A. V. Zemtsovsky

Rockburst prevention in deep ore pillars by forming relieve slots (for the Lovozero raremetal deposit)

Lovozero GOK which develops the Lovozero rare metals deposit is the only supplier of raw materials for the rare metal industry in Russia. The depth of mining at the deposit having reached 600 m is gradually increasing and should reach 900 m. The Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision RF refers the deposit to rockburst-prone and dangerous starting from a 400 m depth. With increasing depth, there is a danger of rockbursts in pillars supporting the overburden, for which it is necessary to provide for appropriate preventive measures. The study has examined the problem of stress distribution in shock-hazardous near-track pillars with discharge slots for the conditions of the Lovozero deposit which is tectonically highly stressed. A variant of the prevention of shock hazard in pillars is provided through the formation of discharge gaps in the sides of the mine, with the help of which the stress concentration is transferred from the excavation boundaries to the pillar's core. The relieve slot formation weakens the bearing capacity of the pillars. However, the formation of unloading slots creates conditions for the middle part of the pillars under volumetric compression, as a result of which the pillars carrying capacity increases. The analysis of the increase in strength of the pillars when working under the conditions of volumetric compression is produced using the shape factor (determined by the formula E. Zern). The data obtained indicate that in low wide pillars, which are contoured at depths above 500–550 m, the weakening effect of the gaps is leveled by the shape of the pillars. Developing preventive measures for shock hazard, the specific bearing capacity of the pillars with / without discharge gaps has been calculated at their location at depths up to 900 m from the surface for the conditions of the Karnasurt mine, which is planned to be mined in the coming years.

Key words: pillars, rockbursts, slots, bearing capacity, Zern coefficient, deepening

Article info: received 15.10.2018; received in revised 25.02.2019