

УДК 504.55.054:622(470.6)

## ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УМЕНЬШЕНИЯ ПОТЕРЬ В ЦЕЛИКАХ ЗА СЧЕТ ПОДПОРА ТВЕРДЕЮЩИМИ СМЕСЯМИ

**Голик Владимир Иванович,**

доктор технических наук, профессор кафедры технологии разработки месторождений Северо-Кавказского государственного технологического университета, Россия, 362021, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44.

E-mail: v.i.golik@mail.ru

**Лукьянов Виктор Григорьевич,**

доктор технических наук, профессор кафедры транспорта и хранения нефти и газа Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета, Россия, 634050, г. Томск, Ленина, 30. E-mail: krets@tpu.ru

**Актуальность.** В новых экономических условиях хозяйствования обостряется проблема качества разработки месторождений полезных ископаемых. Сохранность земной поверхности, уменьшение потерь руд и снижение объема разубоживающих пород может быть обеспечено путем заполнения выработанного пространства твердеющими смесями. Эта возможность ограничивается высокой стоимостью компонентов твердеющих смесей, которая может быть уменьшена использованием отходов горного производства. Желаемый эффект достигается при рациональном использовании свойств природных и искусственных массивов в процессе погашения выработанного пространства.

**Цель исследования.** Обоснование возможности уменьшения потерь в междокамерных целиках при регулировании напряжений в массиве путем подпора рудных целиков твердеющими смесями в процессе погашения камер закладкой твердеющими смесями. Цель достигается решением геомеханической задачи оценки напряжений в массиве в зависимости от состояния горных работ и механизма использования твердеющих смесей для регулирования напряжений.

**Методы.** Напряженное состояние массива в различных фазах его ослабления очистными работами исследуется методом фотоупругости на моделях из оптически активного полиуретана с переменным коэффициентом бокового распора при сохранении остальных параметров модели.

**Результаты.** При сохранении определенного для данных условий уровня напряжений потери в рудных целиках между очистными камерами могут быть уменьшены за счет уменьшения размеров целиков на величину, зависящую от объемов выработанного пространства, физико-механических свойств руд и прочности твердеющих смесей. Подпор твердеющей закладкой снижает уровень напряжений в окрестностях очистных камер на определенную для данных условий величину, что комплексно улучшает экономические и экологические показатели подземной разработки месторождений, уменьшая потери в недрах.

### **Ключевые слова:**

Месторождение, минеральное сырье, разработка, потери, разубоживание, твердеющая смесь, напряжения, целик, камера.

### **Введение**

Будучи крупной сырьевой державой мира, Россия не преодолела опасности стать сырьевым придатком развитых стран, нередко экспортируя не рафинированные металлы, а сырую руду или продукцию ее первого передела. Некоторые российские металлургические комбинаты даже ввозят руду из-за высоких затрат на транспортировку российской руды, причем импорт сырья достигает половины экспорта.

По ряду видов минерального сырья: бокситы, цинк, хромовые и марганцевые руды, молибден, свинец и др., доля России в мировой добыче не превышает 3 %.

Низкая эффективность использования отечественной минерально-сырьевой базы и устаревшие технологии не позволяют решать проблемы полностью извлечения сырья из недр и комплексности его использования.

Универсальная природоохранная и ресурсосберегающая технология с закладкой пустот твердеющими смесями требует надежного обеспечения сырьем для их изготовления, потому что объем добычи сырья для закладочных смесей сравним с

объемом добычи руд, а добыча выводит из оборота землю.

Проблему сырья для приготовления смесей решают утилизацией отходов горного и смежных производств, например, хвостов обогащения [1], но этому препятствует наличие в хвостах обогащения металлов. Экспериментально доказана принципиальная возможность извлечения металлов из хвостов обогащения путем механохимической обработки в аппаратах с извлечением до 80 % металлов от остаточного содержания [2]. Привлекает внимание возможность использования хвостов не только в качестве инертных заполнителей смеси, но и вязущих компонентов.

Освоение технологий с заполнением пустот твердеющими смесями формирует проблемы, актуальность которых увеличивается с уменьшением запасов и содержания полезных компонентов месторождений и необходимостью увеличения объема добычи сырья с ростом населения Земли и увеличением потребности в металлах.

Критерий оптимальности деятельности горнорудного предприятия, который представляет собой совокупность показателей в процессе добычи и

переработки, сейчас больше всего зависит от качества добываемого сырья, определяемого корректностью обращения с сырьем [3].

В качестве объективных критериев полноты использования недр приняты потери и разубоживание руд, а в качестве результирующего – величина извлечения руды из недр.

Определение величины потерь по разности между балансовыми и извлеченными запасами допускает отклонения результатов расчета от фактической величины в 1,5–2 раза. Определение величины потерь непосредственным замером потерь по каждому источнику характеризуется меньшими ошибками.

Величина разубоживания оценивается по количеству руды или по содержанию металлов в запасах и в добытой руде.

Критерий оптимальности отработки месторождения – стоимость товарной продукции – определяется качеством добываемой руды, поэтому генеральным критерием целесообразности комбинированной разработки является показатель полноты использования недр.

Полнота использования недр, кроме общеизвестных факторов, определяется поведением рудовмещающих массивов под влиянием природных и техногенных напряжений. На практике это учитывается введением корректирующих коэффициентов влияния природных и техногенных факторов в рамках геолого-технологической модели [4]:

$$\sigma k_{\sigma} = \int_{l_{\min}}^{l_{\max}} f(x)(dx_1, dx_2 \dots dx_n) = \int_{l_{\min}}^{l_{\max}} f(x)(d\sigma_{\text{п}} + d\sigma_{\text{м}} + d\sigma_{\text{хпн}})k_k,$$

где  $\sigma$  – напряжения в зоне влияния выработок, МПа;  $k_{\sigma}$  – коэффициент корректировки напряжений путем учета геолого-структурных факторов;  $l_{\max}$ ,  $l_{\min}$  – соответственно, максимальные и минимальные пролеты обнажения очистных выработок, м;  $x_1 \dots x_n$  – технологические, физико-механические и иные характеристики процессов добычи;  $k_k$  – коэффициент корректировки взаимодействия открытого и подземного способа добычи руд во времени и пространстве.

Одним из основных направлений оптимизации горного производства является уменьшение объема руд, оставляемых в недрах, для управления состоянием рудовмещающего массива, что в конечном итоге определяет качественные показатели процесса добычи полезных ископаемых. Генеральным критерием оптимальности управления состоянием рудовмещающего массива становятся затраты на добычу руды с учетом ущерба от потерь и разубоживания.

Между показателями технологии добычи имеются коррелятивные связи. Так, для условий полиметаллического месторождения потери 1 % балансовой руды с содержанием металла 20 кг/т эквивалентны [5]:

- 5 % разубоживания по контуру блока с содержанием металла 10 кг/т;
- 17 % разубоживания руды за счет включений пород с содержанием 10 кг/т;
- 24 % снижения производительности труда на очистных работах;
- 18 % снижения производительности блока;
- 14 % снижения производительности труда.

Показатели технологий при прочих равных условиях определяются объемом использования твердеющих смесей. Снижение ущерба от потерь руды компенсирует увеличение затрат на закладку пустот твердеющими смесями.

Комплексная задача уменьшения потерь в целиках, сохранения земной поверхности и использования техногенных ресурсов решается методом моделирования.

#### Объекты и методы исследования

Подавляющее большинство металлических руд добывается в мощных месторождениях, например Курская магнитная аномалия. Их особенность определяется расположением богатейших запасов металлического сырья на пригодных для интенсивного сельского хозяйства землях с высокой плотностью населения [6]. Так, в регионе КМА более 70 % территории составляют плодородные черноземы.

Мощные месторождения играют важную роль в обеспечении минеральной безопасности России. Титульные руды содержат промышленные концентрации особо дефицитных в настоящее время редких и рассеянных металлов. Они разрабатываются с потерями, как правило, до 5–10 %, в зависимости от способа управления массивами. Исключением является извлечение запасов железистых кварцитов КМА с потерями до 60 %. Хвосты переработки металлических руд хранятся на поверхности, оказывая негативное влияние на окружающую среду.

Соседствующий с поземным способом открытый способ разработки месторождений твердых полезных ископаемых имеет в мировой практике горного дела доминирующее распространение, обеспечивая в сравнении с подземным способом более высокие показатели по производительности труда и мощности горных предприятий, меньшие сроки строительства и стоимость предприятий, а также ускоренную окупаемость капитальных вложений [7]. Считается общепризнанным, что меры, принимаемые по снижению негативного влияния открытых горных работ на окружающую среду: земную поверхность, атмосферу, водные источники, неэффективны, особенно в суровых климатических условиях [8].

Перспективным направлением считают извлечение запасов руд технологией скважинной гидродобычи с переводом в гидравлическую смесь и транспортированием по скважинам на поверхность. Технично-технологическая, экологическая и экономическая целесообразность комплексов по

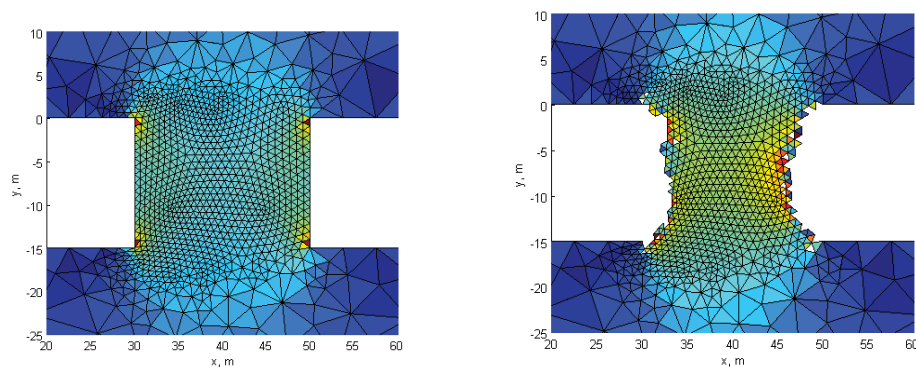


Рис. 1. Модель процесса разрушения междукамерного целика

Fig. 1. Interchamber pillar destruction model

скважинной гидродобыче полезных ископаемых и использованию образовавшихся подземных пустот для хранения жидких и газообразных углеводородов, а также захоронения отходов горнорудных производств в непроницаемых многолетнемерзлых массивах осадочных пород Сибири и Дальнего Востока не вызывает сомнений. Но создание искусственных полостей в густонаселенных регионах с активным использованием земель создает опасность [9].

Большинство мощных месторождений, эксплуатируемых подземным способом, обрабатывают камерными системами разработки. Добыча руды осуществляется под защитой предохранительной рудной потолочины, опирающейся на систему междукамерных целиков. Увеличение размеров очистных камер более допустимого для данных условий предела опасно разрушением целиков и массива (рис. 1).

В таких условиях закладка пустот твердеющими смесями, по сравнению с системой разработки с открытым выработанным пространством, позволяет эффективно регулировать величину технологических и природных напряжений в окрестностях очистных выработок, используя твердеющие смеси на основе хвостов обогащения.

При разработке мощных месторождений рассчитывают величину ущерба и оценивают степень снижения риска обрушения и проседания водозащитной толщи за счет закладки выработанных пространств камер отходами производства. В таких условиях определяют экономическую и природоохранную эффективность технологии с закладкой отработанных камер [10].

На Березниковских калийных рудниках применяют методику оценки устойчивости опорных целиков при камерной системе разработки, основанную на математическом моделировании напряженного состояния междукамерных целиков, позволяющую оценить динамику степени их нагружения и критерии обрушения [11].

Оценку зоны повреждения пород производят на основании измерений трещин в окрестности камеры, с определением контуров деформаций растяжения методом численного моделирования [12].

При работе на глубоких горизонтах Талнахского рудного узла осуществляют комплекс превентивных мер по разуплотнению тектонически напряженных зон до безопасного состояния путем образования разгрузочной щели или взрывания камуфлетных зарядов [13].

На Таштагольском месторождении дифференцируют технологии отработки камер без закладки и с закладкой выработанного пространства после оценки концентрации напряжений и неупругих деформаций в рудовмещающем массиве [14].

Содержание фракций в хвостах обогащения металлических руд различно, но частиц размером менее 0,1 мм насчитывается ориентировочно до 60 %. Коэффициент бокового распора закладки при увеличении влажности в интервале 10–30 % изменяется от 0,17 до 0,18. Наименьшее значение коэффициента бокового распора закладки наблюдается при полной водоотдаче, а наибольшее – на границе вода – твердая фракция.

Количество хвостов на складах предприятий намного превышает их потребности в сырье для твердеющих смесей. Так, на предприятиях КМА их накоплено 320 000 тыс. тонн. Выход отходов составляет около 5 тонн на 1 тонну руды в сухом весе.

Глубокая переработка хвостов обогащения с извлечением попутных ценных ингредиентов в рамках замкнутого производства может создавать прибыль, укрепить финансовое благополучие и предоставить средства на решение экологических проблем.

Практика заполнения подземных пустот хвостами обогащения после сгущения до 70 % твердого вещества по массе [15] не может быть корректной, поскольку при этом безвозвратно теряются попутные металлы стоимостью, сравнимой со стоимостью извлеченных металлов. Подземные выработки превращаются в реактор природного выщелачивания металлов с катастрофическими последствиями химического заражения.

Выход сырьевых горнодобывающих отраслей на более высокий технологический уровень возможен при конверсии технологий добычи руд на подземный способ с закладкой пустот твердеющими



смесями в камерном или слоевом варианте. Успех конверсии будет определяться полнотой учета геомеханических условий разработки.

При отработке месторождения подземным способом устойчивость массива определяется уровнем напряжений на контуре выработок. Структурные блоки пород ведут себя как элементы дискретной среды. При изменении главных напряжений угол их внутреннего трения изменяется с опасностью для устойчивости рудовмещающего массива.

Целью моделирования условий разработки является исследование величины напряжений в массиве для оценки влияния твердеющих смесей на динамику напряжений методом фотоупругости. Модели изготовлены из оптически активного материала типа полиуретан с ценой одной полосы 7,6 МПа для условий: глубина заложения выработки от дневной поверхности  $H=350$  м, объемный вес пород  $\gamma=3,0$  т/м<sup>3</sup>.

Условие прочности:

$$\sigma_1 - \sigma_2 \geq \sin \delta (\sigma_1 + \sigma_2) + \sigma_{сж} + (1 - \sin \delta),$$

где  $\sigma_1, \sigma_2$  – напряжения в точке контура;  $\delta$  – угол внутреннего трения;  $\sigma_{сж}$  – прочность породы, МПа.

Модель нагружается с коэффициентом бокового распора 0,5; 1,0; 1,5. Различные значения бокового распора учитывают позицию горного массива относительно зоны активности действующих в регионе геомеханических систем, например горных массивов, крупных хвостохранилищ или водоемов, что влияет на распределение горизонтальных напряжений. Они более высоки в гористой местности, например Тырныаузе.

Бока камер испытывают влияние естественных напряжений массива, особенно при соотношении высоты камеры к ее ширине, превышающем единицу (в модели принято соотношение 2).

На контуре выработки одно из главных напряжений, нормальное к контуру, равно нулю, а другое, касательное к контуру, оценивается количественно.

Напряжения измерены в проекции на вертикальную плоскость и вертикальном разрезе камеры.

Напряжение в натуре

$$G_n = \gamma H \frac{G_m}{\sigma_b},$$

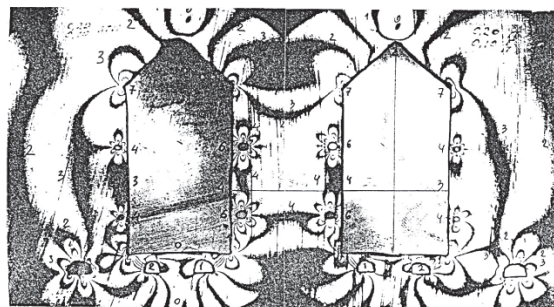
где  $\gamma$  – плотность руды и вмещающих пород, т/м<sup>3</sup>;  $H$  – глубина залегания точки от дневной поверхности, м;  $\sigma_b$  – создаваемое в модели напряжение.

Исследуется возможность уменьшения размеров междукammerного целика для условий:

- боковой распор 0,5; 1,0; 1,5;
- угол наклона главного силового вектора к вертикальной оси  $0^\circ$  при каждом значении бокового распора;
- очистные камеры без закладки и заполненные твердеющими смесями;
- модуль закладки  $E=0,1$  МПа, вмещающих пород – 1,4 МПа.

## Результаты и их обсуждение

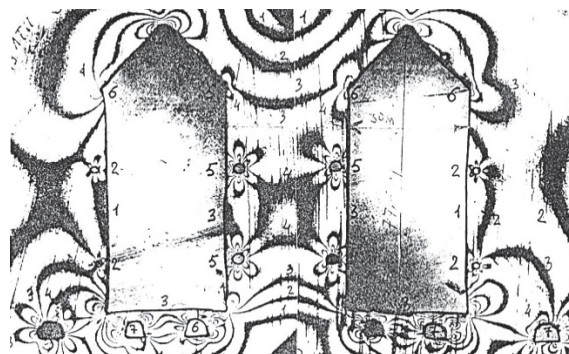
Максимальное напряжение зарегистрировано на контурах камеры и в замках сочленения камеры с потолочной (рис. 2).



a/a



b/b



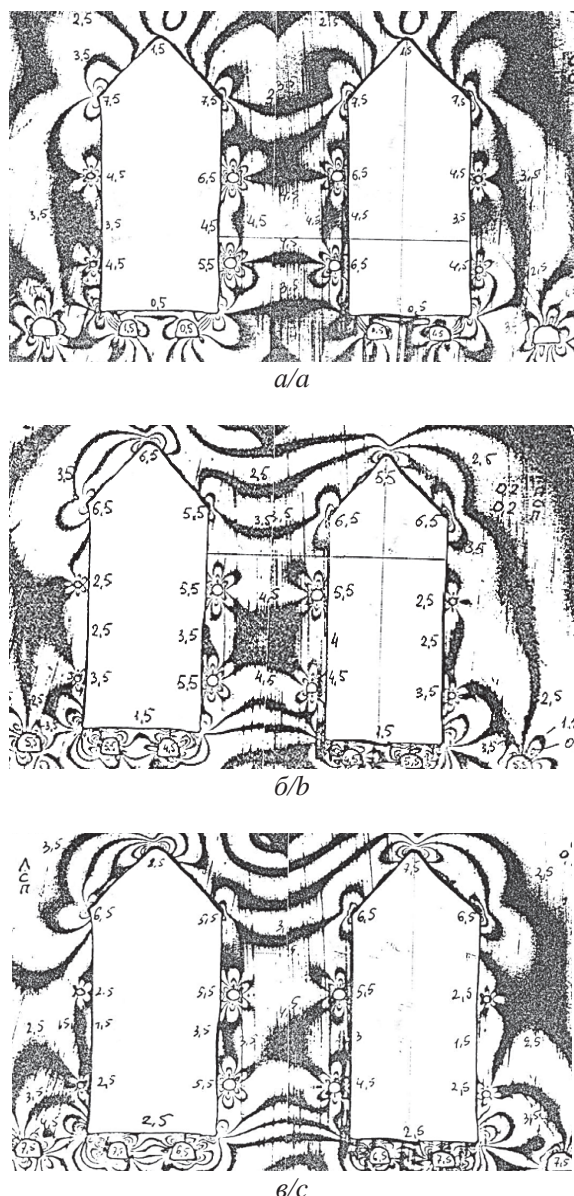
v/c

Рис. 2. Эпюры напряжений в потолочине камеры в модели в зависимости от бокового давления: а) коэффициент 0,5; б) коэффициент 1,0; в) коэффициент 1,5; слева – открытая камера; справа – заложенная камера

Fig. 2. Stress sheets in an arch pillar of a chamber depending on lateral thrust: a) coefficient 0.5; b) coefficient 1.0; c) coefficient 1.5; on the left – open chamber; on the right – filled chamber

**Проекция на вертикальную плоскость.** При коэффициенте бокового распора  $\lambda=0,5$  максимальные напряжения в замках свода и стенках камер составляют:  $7,6 \times 7,5=57$  МПа, на вершине потолочины напряжения –  $7,6 \times 2=15$  МПа, а в междукammerном целике (МКЦ) –  $7,6 \times 6,5=49$  МПа. При коэффициенте бокового распора  $\lambda=1,0$  максимальные напряжения в замках свода, потолочине

и стенках камеры  $7,6 \times 6,5 = 49$  МПа. В МКЦ они снижаются и составляют:  $7,6 \times 5,5 = 42$  МПа. При коэффициенте бокового распора  $\lambda = 1,5$  в зонах замков свода, потолочины и стенках камеры напряжения составляют  $7,6 \times 6,5 = 49$  МПа, а в своде потолочины они возросли до  $7,6 \times 8,5 = 65$  МПа, почти в 3 раза по сравнению с вариантом при  $\lambda = 0,5$  (рис. 3).



**Рис. 3.** Эпюры напряжений в боках камеры в модели в зависимости от бокового давления: а) коэффициент 0,5; б) коэффициент 1,0; в) коэффициент 1,5; слева – открытая камера; справа – заложённая камера

**Fig. 3.** Stress sheets in the sides of a chamber depending on lateral thrust: a) coefficient 0.5; b) coefficient 1.0; c) coefficient 1.5; on the left – open chamber; on the right – filled chamber

**Вертикальный разрез камеры.** Зонами максимальных напряжений являются свод потолочины и днище:

- при  $\lambda = 0,5$   $75,6 \times 5,5 = 42$  МПа;
- при  $\lambda = 1,0$   $75,6 \times 13,5 = 102$  МПа;
- при  $\lambda = 1,5$   $75,6 \times 18,5 = 140$  МПа.

Максимальные напряжения активны при боковом распоре  $\lambda = 1,5$ .

Вывод по результатам моделирования: закладка камеры твердеющими смесями снижает напряжения в потолочине в 2 раза (таблица).

**Таблица.** Напряжения в элементах геомеханической системы, МПа

**Table.** Stress in the geomechanical system elements, MPa

Коэффициент распора Thrust coefficient	Открытое выработанное пространство Open mined-out space	Пространство заложено твердеющей смесью Space filled out with hardening mixture
Потолочина блока/Cap pillar of the panel		
0,5	3	2
1,0	7	5
1,5	13	9
Левый замок свода/Left arch keystone		
0,5	5	6
1,0	4	5
1,5	3	4
Правый замок свода/Right arch keystone		
0,5	5	5
1,0	5,5	6,5
1,5	6	8

Характер изменения показателей напряженности свидетельствует о том, что закладка пустот создает подпор стенкам, что позволяет уменьшить ширину целика на величину, зависящую от прочности твердеющей смеси. Заполнение камер прочной смесью при слоевых системах позволяет отрабатывать рудное поле без оставления целиков.

Для мощных рудных месторождений уменьшение запасов руд в целиках предоставляет возможность рудников без затрат на создание новых объектов инфраструктуры, сокращения изъятия земли и утилизации хвостов обогащения в составе твердеющих смесей [16]. Увеличение масштабов использования феномена упрочнения окажет влияние на экономику градообразующих горных предприятий [17].

В создании комплексного эффекта уменьшения потерь при добыче важную роль играет возможность использования малопрочных твердеющих смесей, поскольку они будут работать в условиях сниженных напряжений и играть вспомогательную роль [18].

Не менее важна возможность использования для целей управления массивом отходов первичной переработки металлосодержащего сырья после извлечения металлов одного из методов, получивших известность в последнее время [19].

Уменьшение объема извлекаемого на земную поверхность сырья при одновременном уменьшении уже накопленных отходов является един-



ственной возможностью реализации концепции гуманизации горного производства в глобальных масштабах [20].

#### Заключение

Предприятиям, разрабатывающим мощные месторождения подземным способом, предстоит увеличение объема производства. Реальным направлением решения этой проблемы является повышение полноты использования недр за счет снижения уровня потерь запасов в целиках. Условием реализации направления является сохранение бе-

зопасного уровня напряжений при увеличении объема выработанного пространства.

Надежным способом управления напряжениями является заполнение выработанного пространства твердеющими смесями, которые создают подпор целикам и повышают их несущую способность, позволяя уменьшить омертвленные запасы.

Твердеющие смеси могут быть в достаточном количестве изготовлены из хранящихся на земной поверхности хвостов обогащения после извлечения из них металлов до уровня санитарных требований.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермолович Е.А., Шок И.А. Техногенные отходы в составе закладочных композиционных материалов // Горный журнал. – 2012. – № 9. – С. 87–93.
2. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Geomechanical terms of use of the mill tailings for preparation // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – № 4. – Р. 321–324.
3. Ракишев Б.Р. Комплексное использование руды на предприятиях цветной металлургии Казахстана // Горный журнал. – 2013. – № 7. – С. 48–55.
4. Голик В.И., Полухин О.Н. Обоснование эколого-экономической эффективности утилизации хвостов обогащения руд КМА // Научные ведомости БелГУ. Естественные науки. – 2015. – № 9. – С. 176–186.
5. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Feasibility of using the mill tailings for preparation of self-hardening mixtures // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – № 3. – Р. 38–41.
6. Корнилов И.А., Колмыков С.Н., Петин А.Н. Оценка степени воздействия горнодобывающих предприятий КМА на гидроэкологическую ситуацию Белгородской области // Горный журнал. – 2012. – № 10. – С. 68–72.
7. Ильин С.А., Коваленко В.С., Пастихин Д.В. Открытый способ разработки месторождений: возможности и пути совершенствования // Горный журнал. – 2012. – № 2. – С. 56–61.
8. Ильин С.А., Коваленко В.С., Пастихин Д.В. Преодоление начальных недостатков открытого способа разработки: опыт и результаты // Горный журнал. – 2012. – № 4. – С. 78–83.
9. Арнс В.Ж., Хчян Г.Х., Хрулёв А.С. Скважинная гидродобыча песков с хозяйственным использованием образовавшихся подземных пустот в условиях вечной мерзлоты // Горный журнал. – 2013. – № 10. – С. 46–52.
10. Борзаковский Б.А., Русаков М.И., Алыменко Д.Н. Оценка эффективности закладочных работ на рудниках Верхнекамского месторождения калийных солей // Горный журнал. – 2012. – № 8. – С. 49–54.
11. Оценка устойчивости несущих элементов камерной системы разработки / С.Ю. Лобанов, А.Ю. Шумихина, И.С. Ломакин, В.Н. Токсаров, А.В. Евсеев // Горный журнал. – 2013. – № 6. – С. 84–88.
12. Методика определения зоны распространения повреждения породного массива вокруг горных выработок и камер с помощью численного моделирования / В.Н. Лушников, М.П. Сэнди, В.А. Еременко, А.А. Коваленко, И.А. Иванов // Горный журнал. – 2013. – № 12. – С. 89–94.
13. Галаев Р.Б., Звездин В.А., Шабаров А.Н. Геомеханическое обоснование безопасных способов разработки тектонически напряженных блоковых структур рудных залежей Талнахского узла // Горный журнал. – 2013. – № 12. – С. 112–116.
14. Смирнов С.М., Татарников Б.Б., Александров А.Н. Влияние геодинамических условий отработки рудного участка на технологию очистных работ с закладкой выработанного пространства // ГИАБ. – 2014. – № 11. – С. 55–60.
15. Ресурсовоспроизводящие, экологически сбалансированные геотехнологии комплексного освоения месторождений Курской магнитной аномалии / К.Н. Трубецкой, Д.Р. Каплунов, В.К. Томаев, И.И. Помельников // Горный журнал. – 2014. – № 8. – С. 36–43.
16. Ястребинский М.А. Экономическое обоснование рыночного критерия приведенных затрат и результатов // ГИАБ. – 2014. – № 6. – С. 123–128.
17. Хашева З.М. Функциональное преобразование внутренней среды экономической системы региона // Региональная экономика: теория и практика. – 2013. – № 39. – С. 2–8.
18. Смирнов С.М., Татарников Б.Б., Александров А.Н. Влияние геодинамических условий отработки рудного участка на технологию очистных работ с закладкой выработанного пространства // ГИАБ. – 2014. – № 11. – С. 123–128.
19. Голик В.И., Комащенко В.И., Мorkun В.С. Современная практика выщелачивания металлов из отходов горного производства // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг: КНУ, 2015. – Вип. 39. – С. 3–8.
20. Комащенко В.И., Ерохин И.В. Концепция минимизации опасного загрязнения окружающей среды железорудных регионов КМА // Горный журнал. – 2014. – № 2. – С. 78–94.

Поступила 19.08.2015 г.

UDC 504.55.054:622(470.6)

## POSSIBILITY JUSTIFICATION OF LOSSES REDUCTION IN PILLARS BY BACKWATERING WITH HARDENING MIXTURES

Vladimir I. Golik,

North-Caucasian State Technological University, 44, Nikolaev Street,  
Vladikavkaz, 362021, Russia. E-mail: vigolik@mail.ru

Viktor G. Lukyanov,

National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue,  
Tomsk, 634050, Russia. E-mail: krets@tpu.ru

**The relevance of the research.** The problem of mining field development quality is aggravating in new economic management conditions. The need to preserve the earth's surface, reduce ore losses and amount of diluting rocks can be ensured by filling out the space with hardening mixtures. This opportunity is limited by high-value components of hardening mixtures, which can be reduced by using mining waste. The desired effect is achieved by a rational use of properties of natural and man-made arrays.

**Objectives of the study:** to justify the possibility of losses reduction in interchamber pillars while regulating the stress in the array by means of ore pillars backwater with hardening mixtures. The objective is achieved by resolving a problem of geomechanical stress estimation in the array depending on the mining and use of hardening mixtures mechanism for stress regulation.

**Methods used in the research.** The stress state of the array in various phases of its weakening by sewage treatment works is studied with a photoelastic method on the models of optically active polyurethane with a variable coefficient of lateral thrust while maintaining the rest of the model parameters.

**The results.** The authors found that when the stress level is maintained ore pillar losses can be reduced by decreasing the size of pillars by an amount depending on the amount of developed space, physical and mechanical properties of ores and strength of hardening mixtures. Backwater with hardening mixtures reduces the stress level in the vicinity of the stopes by a certain value that comprehensively improves the economic and environmental performance of underground mining, reducing losses in the interior of the earth.

### Key words:

Mine, mineral stock, development, losses, dilution, hardening mixture, stress, pillar, chamber.

### REFERENCES

- Ermolovich E.A., Shok I.A. Tekhnogennyye otkhody v sostave zakladochnykh kompozitsionnykh materialov [Technogenic waste as a part of stowage composite materials]. *Gornyy zhurnal*, 2012, no. 9, pp. 87–93.
- Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Geomechanical terms of use of the mill tailings for preparation. *Metallurgical and Mining Industry*, 2015, no. 4, pp. 321–324.
- Rakishhev B.R. Kompleksnoe ispolzovanie rudy na predpriyatiyakh tsvetnoy metallurgii Kazakhstana [Complex use of ore at the enterprises of nonferrous metallurgy of Kazakhstan]. *Gornyy zhurnal*, 2013, no. 7, pp. 48–55.
- Golik V.I., Polukhin O.N. Obosnovanie ekologo-ekonomicheskoy effektivnosti utilizatsii khvostov obogashcheniya rud KMA [Justification of ecologo-economic efficiency of utilization of tails of enrichment of KMA ores]. *Scientific sheets of BelGU. Natural sciences*, 2015, no. 9, pp. 176–186.
- Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Feasibility of using the mill tailings for preparation of self-hardening mixtures. *Metallurgical and Mining Industry*, 2015, no. 3, pp. 38–41.
- Kornilov I.A., Kalmykov S.N., Petin A.N. Otsenka stepeni vozdeystviya gornodobyvayushchikh predpiyatий KMA na gidroekologicheskuyu situatsiyu Belgorodskoy oblasti [Evaluation of extent of impact of the KMA mining enterprises on a hydroecological situation of the Belgorod region]. *Gornyy zhurnal*, 2012, no. 10, pp. 68–72.
- Ilin S.A., Kovalenko V.S., Pastikhin D.V. Otkrytyy sposob razrabotki mestorozhdeniy: vozmozhnosti i puti sovershenstvovaniya [Open way of development of fields: opportunities and ways of improvement]. *Gornyy zhurnal*, 2012, no. 2, pp. 56–61.
- Ilin S.A., Kovalenko V.S., Pastikhin D.V. Preodolenie iznachalnykh nedostatkov otkrytogo sposoba razrabotki: opyt i rezultaty [Overcoming of initial shortcomings of an open way of development: experience and results]. *Gornyy zhurnal*, 2012, no. 4, pp. 78–83.
- Arens V.Zh., Khcheyan G.Kh., Khrulev A.S. Skvazhinnaya gidrodobycha peskov s khozyaystvennym ispolzovaniem obrazovavshikhsya podzemnykh pustot v usloviyakh vechnoy merzloty [Borehole hydroproduction of sand with economic use of the formed underground emptiness in the conditions of permafrost]. *Gornyy zhurnal*, 2013, no. 10, pp. 46–52.
- Borzakovskiy B.A., Rusakov V.I., Alymenko D.N. Otsenka effektivnosti zakladochnykh rabot na rudnikakh Verkhnekamskogo mestorozhdeniya kaliynykh soley [Estimation of efficiency of stowage works on mines of the Verkhnekamsky field of potash salts]. *Gornyy zhurnal*, 2012, no. 8, pp. 49–54.
- Lobanov S.Yu., Shumikhina A.Yu., Lomakin I.S., Toksarov V.N., Evseev A.V. Otsenka ustoychivosti nesushchikh elementov kamernoy sistemy razrabotki [Estimation of stability of the bearing elements of chamber system of development]. *Gornyy zhurnal*, 2013, no. 6, pp. 84–88.
- Lushnikov V.N., Sendi M.P., Eremenko V.A., Kovalenko A.A., Ivanov I.A. Metodika opredeleniya zony rasprostraneniya povrezhdeniya porodnogo massiva vokrug gornykh vyrabotok i kamer s pomoshchyu chislennogo modelirovaniya [Way of definition of a zone of distribution of damage of the rock mass near excavations and chambers by means of numerical modeling]. *Gornyy zhurnal*, 2013, no. 12, pp. 89–94.
- Galaov R.B., Zvezdkin V.A., Shabarov A.N. Geomekhanicheskoe obosnovanie bezopasnykh sposobov razrabotki tektonicheskii napryazhennykh blokovykh struktur rudnykh zalezhey Talnakhskogo uzla [Geomechanical justification of safe ways of development of tectonic intense block structures of ore deposits of Talnakhsky knot]. *Gornyy zhurnal*, 2013, no. 12, pp. 112–116.
- Smirnov S.M., Tatarnikov B.B., Aleksandrov A.N. Vliyaniye geodinamicheskikh usloviy otrabotki rudnogo uchastka na tekhnologiyu ochistnykh rabot s zakladkoy vyrabotannogo prostranstva [Influence of geodynamic conditions of working off of an ore site on technology of clearing works with a laying of the developed space]. *GIAB*, 2014, no. 11, pp. 55–60.

15. Trubetskoy K.N., Kaplunov D.R., Tomaev V.K., Pomelnikov I.I. Resursovoproizvodyashchie, ekologicheski sbalansirovannye geotekhnologii kompleksnogo osvoeniya mestorozhdeniy Kurskoy magnitnoy anomalii [Resource-productive, ecologically balanced geotechnologies of complex development of fields of Kursk magnetic anomaly]. *Gornyy zhurnal*, 2014, no. 8, pp. 36–43.
16. Yastrebinskiy M.A. Ekonomicheskoe obosnovanie rynochnogo kriteriya privedennykh zatrat i rezultatov [An economic justification of market criterion of the given expenses and results]. *GIAB*, 2014, no. 6, pp. 123–128.
17. Hasheva Z.M. Funktsionalnoe preobrazovanie vnutrenney sredy ekonomicheskoy sistemy regiona [Functional transformation of the internal environment of economic system of the region]. *Regionalnaya ekonomika: teoriya i praktika*, 2013, no. 39, pp. 2–8.
18. Smirnov S.M., Tatarnikov B.B., Aleksandrov A.N. Vliyaniye geodinamicheskikh usloviy otrabotki rudnogo uchastka na tekhnologiyu ochistnykh rabot s zakladkoy vyrabotannogo prostranstva [Influence of geodynamic conditions of working off of an ore site on technology of clearing works with a laying of the developed space]. *GIAB*, 2014, no. 11, pp. 123–128.
19. Golik V.I., Komashchenko V.I., Morkun V.S. Sovremennaya praktika vyshchelachivaniya metallov iz otkhodov gornogo proizvodstva [Modern practice of leaching of metals from waste of mining]. *Visnik Krivorizkogo natsionalnogo universiteta*, 2015, iss. 39, pp. 3–8.
20. Komashchenko V.I., Erokhin I.V. Kontseptsiya minimizatsii opasnogo zagryazneniya okruzhayushchey sredy zhelezorudnykh regionov KMA [Concept of minimization of dangerous environmental pollution of iron ore regions of KMA]. *Gornyy zhurnal*, 2014, no. 2, pp. 78–94.

*Received: 19 August 2015.*