

т.д., что дает представление о «массиве» флишевой толщи, по сравнению с классификацией пород по Протодьяконову, которая остается в границах представления, как о прочности характеристики пород «в куске».

Геологоразведка в сочетании с непосредственными инструментальными наблюдениями в забое тоннеля фактических деформаций и сложного фактического поля напряжений в геомассиве, обусловленного как гравитационными, так и тектоническими силами, дала возможность разработать новые аспекты, которые, может быть в будущем, будут отмечены в новых нормативных документах Украины.

#### *Список литературы*

1. Научно-технический отчет о результатах комплексных инженерных изысканий. Строительство Бескидского тоннеля. ГП «Энергопроект», Киев – 2012 год.
2. **Протодьяконов М.М.** Давление горных пород и рудничное крепление, ч.1. Гос. научн-техн. горное изд-во, М., 1933.
3. **Цимбаревич П.М.** Механика горных пород. М., Углетехиздат, 1934.
4. ВСН 126-90. Крепление выработок набрызг-бетоном и анкерами при строительстве транспортных тоннелей и метрополитенов. Нормы проектирования и производства работ.
5. **Ильницкая Е.И.** и др. Свойства горных пород и методы их определения. М., «Недра», 1969.
6. **Барон Л.И.** Коэффициенты крепости горных пород. М., «Наука», 1972.
7. СНиП II-44-78. Тоннели железнодорожные и автодорожные. Нормы проектирования, 1978.
8. СНиП III-44-77. Тоннели железнодорожные, автодорожные и гидротехнические. Метрополитены. Правила производства и приемки работ.
9. ГОСТ 21153.1-75. Породы горные. Метод определения коэффициента крепости по Протодьяконову.
10. **Баргон Н., Лин К., Лунде Й.** Инженерная классификация пород, используемая для проектирования тоннельной крепи. Rock Mech; 6(4):189- 236., 1974
11. **Баргон Н.** Некоторые новые корреляции Q-значения в поддержку характеристики площадки и проектирования тоннелей. Международный журнал по механике горных пород и горному делу.39-2. Стр.185-216, 2002.
12. **Бенявски З.Т.** Определение деформируемости породного массива: опыт примеров применения. Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr ; 15: 237-247, 1978.
13. **Бенявски З.Т.** Инженерные классификации породных массивов: полное руководство для горных инженеров и геологов, строительства и нефтепромышленного дела. Нью-Йорк: Вайли, 251с, 1989.
14. **Лунард П.** Проектирование и строительство тоннелей с применением подхода, основанного на анализе контролируемой деформации в породах и грунте (ADECO-RS). «T&T Международный подход по анализу контролируемой деформации в породах и грунте (ADECO-RS)», 2000.
15. **Маринос П, Хок Е.** Оценка геотехнических свойств гетерогенных породных массивов, таких как флиш. Бюллетень по инженерной геологии и окружающей среде. 60 (2001) 85-89, 2001.
16. **Стовпник С.Н., Осипов А.С.** «Оптимизация комбинированной конструкции временной крепи тоннелей для сложных инженерно-геологических условий флишевого сложения массива пород», Вісті Донецького гірничого інституту - Красноармейск, 2016 – Выпуск №1(38), - с.105-114.
17. Plaxis 3D. Руководство пользователя. Часть 3. Пособие по моделям материалов, «НИП-Информатика», Санкт-Петербург, 2012 год.

Рукопись поступила в редакцию 17.03.17

УДК 622.235:622.271

А.А. СКАЧКОВ, горный инженер, начальник департамента технологий и планирования производства «ГДД МЕТИНВЕСТ ХОЛДИНГ»  
С.А. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф., Криворожский национальный университет

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ СИЛОВЫХ ПОЛЕЙ ВЗРЫВНОГО РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОМ ЭНЕРГОНАСЫЩЕНИИ ПОРОДНОГО МАССИВА**

В статье анализируются геомеханические условия, при которых взрывное разрушение кристаллических пород осуществляется посредством взаимодействующих скважинных зарядов. Также учитываются особенности формирования четырех зон вокруг заряда с различным напряженным состоянием горных пород.

**Цель.** Основной целью исследования является определение наиболее значимых факторов, влияющих на свойства горных пород при формировании в них силовых полей. И он посвящен решению актуальной проблемы – снижению удельного расхода взрывчатых веществ для разрушения горных пород путем изменения порядка выполнения работ при их подрывании. Это учитывает взаимодействие взрывных нагрузок от разных зарядов.

**Методами исследования** являются анализ геологических данных по железорудным месторождениям Кривбас-

са, проектной документации, данных добычи руд горных предприятий и открытых разработок, научные публикации и их последующий анализ и синтез, и разработка научных положений.

**Оригинальность** заключается в определении комплексного подхода к решению указанной проблемы и ряде технических решений.

**Практическое значение.** Дальнейшее развитие и производственное применение результатов исследований обеспечит значительное снижение себестоимости железорудной продукции за счет повышения эффективности буровых и взрывных работ в железорудном карьере.

**Результаты исследования.** Для теории и практики ведения взрывных работ важно знать особенности формирования и взаимодействия силовых полей скважинных зарядов ВВ, взрывааемых в одной ступени замедления. Основную роль в процессе разрушения горного массива при этих условиях играют зоны I и II силовых полей разрушения. Подбором  $P(t)$  (величина импульса заряда взрывной полости) в каждом из взаимодействующих зарядов, можно регулировать процесс взрывного нагружения в зависимости от конкретных горно-геологических условий ведения взрывных работ. За счет изменения способов формирования и порядка взрывания зарядов ВВ в разрушаемом объеме, можно влиять на процесс разрушения, зная особенности формирования силовых полей.

Характер формирования и основные характеристики зоны III важны для изучения процесса разрушения горного массива, приведенного в напряженное состояние от ранее взорванных скважинных зарядов ВВ.

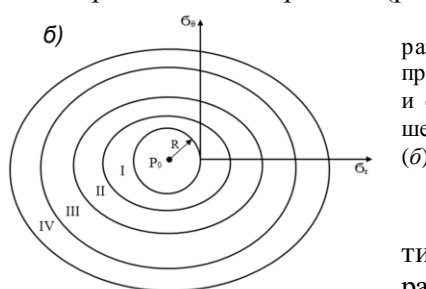
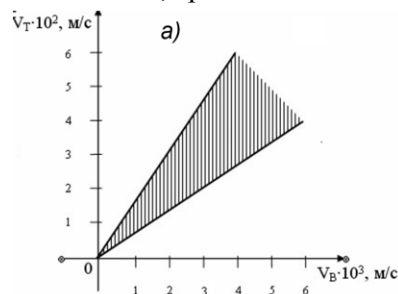
**Ключевые слова:** горная порода, взрывное разрушение, карьер, взрывные волны, взрывные работы, скважинные заряды.

doi: 10.31721/2306-5435-2017-1-102-73-78

**Постановка проблемы.** Традиционные методы ведения взрывных работ в карьерах объединяет то, что уступ горных пород наиболее неравномерно разрушается в зоне, прилегающей к откосу, в результате чего образуется горная масса из самых неоднородной кускуватистую [1]. Исключительно сложное напряженно-деформированное состояние породного массива в этой части при взаимодействии скважинных зарядов, подрываемых в первом и втором рядах, является одной из главных причин неконтролируемого выхода негабаритной фракции при выполнении взрывных работ, что отрицательно сказывается на технико-экономических показателях всего горнодобывающего производства, поэтому поиск путей решения данной задачи является весьма актуальным [2-3], так как в свою очередь способствует решению проблемы повышения эффективности буровзрывных работ.

**Анализ последних исследований** в теории взрывного разрушения кристаллических массивов и практики БВР, одним из наименее исследованных теоретически и нерешенных практически вопросов является неравномерное влияние на формирование взрывом нагрузки краевой части уступа, оптимизировать что возможно при целенаправленном использовании эффектов развития динамической зоны разрушения, создаваемой силовыми полями взаимодействующих зарядов приконтурных рядов [4-6]. В связи с этим в исследования закладывалась идея возможности целевого использования динамических эффектов, проявляющихся при взаимодействии скважинных зарядов, для решения чего задачи исследований формулировались в соответствии с нею, а именно: заряды первого ряда скважин инициируются после подрыва зарядов второго, образуя благодаря благоприятному формированию напряженного состояния массива более оптимальную динамическую зону соответствии с конкретными условиями.

**Изложение материала исследования.** Продукты детонации, действующие на стенки зарядной камеры, образуют в разрушаемом горном массиве очень неоднородное сложное поле напряжений, распространяющееся со скоростью, определяемой физическими свойствами среды. В реальных условиях, даже при равномерном напряжении, поля напряжений имеют локальную неоднородность. На берегах трещин концентрируются напряжения. Этот процесс во многом зависит от их конкретных размеров. Когда величина напряжений достигает некоторой величины  $\sigma_i$ , трещина начинает расти с определенной скоростью (рис. 1а).



**Рис. 1.** Зависимость процесса развития трещин от скорости распространения волн напряжений (а) и схема структуры области разрушения цилиндрического заряда ВВ (б)

При этом процесс развития трещин становится необратимым. Для разрушения

хрупкой среды необходимо и достаточно, чтобы удовлетворялось условие  $\varepsilon \geq \varepsilon_p$ , где  $\varepsilon$  – относительная деформация среды от воздействия взрыва;  $\varepsilon_p$  – максимально возможная относительная деформация.

Для изучения особенностей формирования силовых полей разрушения при взрывной отбойке горных пород скважинными зарядами ВВ рассмотрим структуру и закономерность формирования области разрушения цилиндрического заряда на основе теоретических схем и условий, приведенных в работах [7-9].

Введем следующие обозначения: зона I – область  $\sigma_\theta = \alpha \sigma_r = \beta$ ,  $\sigma_r < \sigma_\theta < 0$  в плоскости напряжений  $\sigma\theta$  и соответствующая ей область разрушения, зона II – область  $\sigma_\theta = 0$  в плоскости напряжений и соответствующая ей область разрушения, зона III – область возмущенного физического пространства, где среда находится в неразрушенном состоянии. Зоны I, II, III располагаются в порядке их удаления от взрывной полости (рис. 1б).

Поверхность разрушения находится на границе зон II и III. Для рассматриваемого случая линейные соотношения между напряжениями  $\sigma_r$  и  $\sigma_\theta$  имеют вид:  $\sigma_\theta = \alpha \sigma_r + \beta$ , ( $0^\circ < \delta < 90^\circ$ ),

где

$$\alpha = \frac{1 - \sin \delta}{1 + \sin \delta}, \quad \beta = \frac{2k \cos \delta}{1 + \sin \delta}. \quad (1)$$

Здесь  $k$  и  $\delta$  – коэффициент сцепления и угол внутреннего трения.

Для того, чтобы указать общую замкнутую систему уравнений для описания процесса разрушения твердой среды под действием взрыва, остановимся на представлении о разрушении фиксированной материальной частицы.

Если ударная волна сжатия вначале имеет большую интенсивность, то разрушение частицы происходит непосредственно на переднем фронте волны. В этом случае поверхность разрушения совпадает с фронтом ударной волны. Если интенсивность ударной волны недостаточно велика, то скорость распространения поверхности разрушения – меньше скорости распространения переднего фронта возмущения и величина поверхности разрушения является постоянной и зависит от прочностных свойств разрушаемой среды. В этом случае вначале частица в неразрушенном состоянии подвергается некоторому возмущению, находящемуся в упругой области, а затем начинается постепенное разрушение. Дробление частицы тем больше, чем ближе она расположена к месту взрыва. Поверхности разрушения, как некоторой границе возможной полости в разрушаемой среде, придается геометрический смысл.

Для рассматриваемых зон основного поля разрушений цилиндрического заряда будем считать процесс расширения газа в полости квазистатическим и политропным

$$Pr_1(t)^{3\gamma} = P_0 \cdot P^{3\gamma}, \quad (2)$$

где  $r_1(t)$  – радиус взрывной полости в момент времени  $t$ ;  $\gamma$  – показатель политропы.

Компонентами вектора смещения и скорости материальной частицы будут радиальные составляющие  $u$  и  $v$ . В рассматриваемом случае использована эйлерова координата  $r$  и начальная координата  $r_0$  материальной точки.

Для зоны I система уравнений имеет вид уравнение движения

$$\rho(\partial v / \partial t + v \partial v / \partial r) = \partial \sigma_r / \partial r + 2(1 - \alpha)(\sigma_r - 2\beta)r^{-1},$$

уравнение сохранения массы

$$r^{-2} \partial(r^2 v) / \partial r = 0 \quad (3)$$

и следующие тождества:

в эйлеровых координатах

$$r = r_0 + u(r, m), \quad v = \partial u / \partial t + v \cdot \partial u / \partial r,$$

в лагранжевых координатах

$$r = r_0 + u(r_0, m), \quad v = \partial r / \partial t = \partial u / \partial t.$$

Согласно законам сохранения массы

$$v = f'(t)r^{-2}, \quad (4)$$

где  $f(t)$  – произвольная функция.

Тогда с учетом изложенного

$$u = r - f_2(r^3 - 3f(t)). \quad (5)$$

$$\sigma_r = f_1(t)r^{-2(\alpha+1)} + \beta(1-\alpha)^{-1} - \rho f_1'' \cdot r^{-1} + \rho f_1'^2 \cdot 1/2r^4,$$

где  $f_1(t)$  и  $f_2(t)$  – произвольные функции.

Из условия (2) находим  $f_1$  и в результате получаем

$$\sigma_r = \left(\frac{r_1}{r}\right)^{2(1-\alpha)} \left( \frac{-\beta}{1-\alpha} - \alpha_0 r_1^{-3} + \frac{\rho f_1''(t)}{r_1} - \frac{\rho f_1'^2(t)}{2r_1^4} \right) + \frac{\beta}{1-\alpha} - \frac{\rho f_1''(t)}{r} + \frac{\rho f_1'^2(t)}{2r^4}, \quad (6)$$

где  $\alpha_0 = P_0 R^{3\gamma}$ .

Из первого равенства (5) можно найти  $f_2(t)$ , а  $f_1(0)$  можно принять равным нулю. В результате получим

$$u = r - r_0 = r - (r^3 - 3f_1(t))^{1/3}. \quad (7)$$

Общее решение исходных уравнений для зоны I дают формулы (4), (6) и (7). Данное решение содержит произвольные функции:  $r_1(t)$  и  $f(t)$ .

Система уравнений для нахождения основных характеристик для зоны II имеет вид

$$\rho \partial^2 u / \partial t^2 = \partial \sigma_r / \partial r + 2\sigma_r / r,$$

$$\sigma_r = E \partial u / \partial r - P_0(1-2\nu),$$

$$\sigma_\theta = 0.$$

Общее решение задачи для зоны II выражается через две произвольные функции  $f_2$  и  $f_1$

$$u = r^{-1}(f_2(c_1 t - r) + f_3(c_1 t + r)) + r P_0(1-2\nu)E^{-1},$$

$$\nu = (c_1 / r)(f_2'(c_1 t - r) + f_3'(c_1 t + r)), \quad (8)$$

$$\sigma_r = (E/r)(f_3'(c_1 t + r) - f_1'(c_1 t - r) - (E/r^2)(f_2(c_1 t - r) + f_3(c_1 t + r)),$$

где  $c_1 = \sqrt{E/\rho}$ .

Система уравнений для зоны III определена согласно несжимаемости среды разрушения как

$$\rho_0 \partial^2 u / \partial t^2 = \partial \sigma_r / \partial r + 2/r(\sigma_r - \sigma_\theta),$$

$$\sigma_r = -P_0 - P + 2\mu \partial u / \partial r,$$

$$\sigma_\theta = -P_0 - P + 2\mu u / r, \quad (9)$$

$$\partial u / \partial r = -2ur^{-1}.$$

Общее решение данной системы имеет вид

$$u = r_0^{-2} \cdot f_4'(t), \quad \nu = r_0^{-2} \cdot f_4'(t),$$

$$\sigma_r = -4\mu r_0^{-3} \cdot f_4(t) - \rho_0 r_0^{-1} \cdot f_4''(t) - P_0,$$

$$\sigma_\theta = 2\mu r_0^{-3} \cdot f_4(t) - \rho_0 r_0^{-1} \cdot f_4''(t) - P_0.$$

где  $f_4(t)$  – произвольная функция напряжения на бесконечности по условию равна  $-P_0$ .

Представленное силовое поле разрушения, на плоскости цилиндрического заряда ВВ должно отвечать следующим требованиям: смещение – непрерывно; потоки массы и импульса при переходе через зоны – сохраняются; на поверхности разрушения должно выполняться условие, определяющее  $\theta$ .

Основные параметры силового поля (рис. 2) за достаточно большой промежуток времени ( $t \rightarrow \infty$ ) определяются из условия, что произвольные функции  $f_m(m = \overline{1,4})$  в общем решении превращаются в постоянные  $c_m(m = \overline{1,4})$  и решения на основании формул (6)-(9) принимают следующий вид

$(r_1 < r < r_2)$  – зона I

$$u = r - r_0 = r - (r_3 - 3c_1)^{1/3}$$

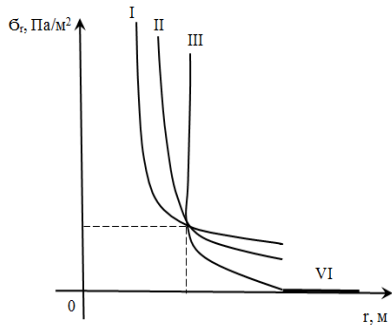
$$(\sigma_r = \alpha \sigma_r \beta),$$

$$\sigma_r = \left(\frac{r_1}{r}\right)^{2(1-\alpha)} \left( \frac{\beta}{\alpha-1} - \alpha_0 r_1^{-3} \right) + \frac{\beta}{1-\alpha}, \quad (10)$$

$(r_2 < r < r_3)$  – зона II

$$u = c_2 r^{-1} + r P_0(1-2\nu)E^{-1} + c_4, \quad \sigma_r = -E c_2 r^{-2}, \quad \sigma_\theta = 0 \quad (11)$$

$(r_3 < r < \infty)$  - зона III



$$u = c_2 r^{-2}, \quad \sigma_r = -P_0 - 4\mu c_3 r^{-2}, \quad \sigma_o = -P_0 + 2\mu c_3 r^{-3}. \quad (12)$$

Рис. 2. Характеристика силового поля заряда ВВ

Окончательные размеры отдельных зон силового поля взрывного нагружения разрушаемой среды определяются как

$$r_1 = R / \lambda, \quad r_2 = (1 - \lambda^3)^{1/3} \cdot r_1, \quad (0 < \lambda < 1), \\ r_3 = r_2 (E \eta_2 / P_0 + 4\mu \eta_3)^{1/2}.$$

Для решений (10)-(12) постоянные  $c_m (m = 1, 4)$  равны

$$c_1 = R_3 (1 - \lambda^3) / 3\lambda^3, \quad c_2 = \eta_3 r_2^2, \quad c_3 = \eta_3 r_3^3, \\ c_4 = - \frac{2p_0(1 - \nu) + \eta_3(4\mu - E)}{E r_3^{-1}}.$$

Здесь  $\eta_2$  и  $\eta_3$  - положительные корни уравнений

$$\nu \cdot \eta_3^2 + 2\nu(3 - \nu)\eta_2 \left( \frac{\beta}{E} - \alpha\eta_2 \right) + 3\nu^2 \left( \frac{\beta}{E} - \alpha\eta_2 \right)^2 = 0, \\ \nu^2 \left( \frac{p_0}{\mu} + 4\eta_3 \right)^2 - 2\nu(3 - \nu) \left( \frac{p_0}{\mu} + 4\eta_3 \right) \left( \frac{p_0}{\mu} - 2\eta_3 \right) + (1 + 3\nu^2) \left( \frac{p_0}{\mu} - 2\eta_3 \right)^2 = 4(1 + \nu)^3 \frac{\rho\theta}{E}.$$

Учитывая, что граница зоны I и II не является фронтом разрушения, при взрыве мощного скважинного заряда ВВ зона II возникает на сравнительно поздних стадиях процесса и на достаточном удалении от взрывной полости. В зависимости от давления газа в полости могут реализоваться самые различные сочетания зон I, II и III.

Для теории и практики ведения взрывных работ важно знать особенности формирования и взаимодействия силовых полей скважинных зарядов ВВ, взрывааемых в одной ступени замедления.

Основную роль в процессе разрушения горного массива при этих условиях играют зоны I и II силовых полей разрушения.

Подбором  $P(t)$  (величина импульса заряда взрывной полости) в каждом из взаимодействующих зарядов, можно регулировать процесс взрывного нагружения в зависимости от конкретных горно-геологических условий ведения взрывных работ.

За счет изменения способов формирования и порядка взрыва зарядов ВВ в разрушаемом объеме, можно влиять на процесс разрушения, зная особенности формирования силовых полей.

Характер формирования и основные характеристики зоны III важны для изучения процесса разрушения горного массива, приведенного в напряженное состояние от ранее взорванных скважинных зарядов ВВ.

Учитывая временные и геометрические характеристики зоны III, можно предположить, что напряженное состояние горного массива будет полностью отвечать физическим параметрам интегральной зоны, образованной от ранее взорвавшихся скважинных зарядов ВВ.

Полученные результаты могут быть использованы для разработки взрывных технологий, основанных на разрушении горного массива, приведенного предварительно в напряженное состояние от взрыва зарядов ВВ, например, малой мощности.

**Выводы.** В определенных горно-геологических условиях рационально осуществлять взрывание взаимодействующих скважинных зарядов ВВ разной мощности и при этом первым инициировать заряд меньшей мощности, как предполагается в разработанных способах ведения буровзрывных работ.

## Список литературы

1. Физика взрыва / **Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкович К.П.** и др./ Под. ред. К.П. Станюковича. - М.: Наука, 1975. - 407 с.
2. **Persson P.A., Holmberg R. and Jailing. L.** – Rock Blasting and Explosives Engineering, CRC Press, London, 1994. PP 540.
3. **Бетин В.Д.** Развитие детонации в скважинных зарядах с полыми цилиндрами // Разработка рудных месторождений. Научно-техн. сб. – Кривой Рог: изд-во КТУ, 2003. – Вып. 83. – С.68-74.
4. **Кутузов Б.Н.** Методы ведения взрывных работ. Часть 1. - М.: Горная книга, 2009. - 471 с.
5. **Перегудов В.В., Жуков С.А.** Пути повышения качества взрывных работ при разрушении горных пород сложной структуры. Монография. - Кривой Рог: Издательский дом, ISBN 966-7388-47-6. 2002. - 305 с.
6. **Антонов А.Ю., Кириченко И.А.** Разработка технологи отбойки на нижних горизонтах железорудных карьеров // Вісник КТУ. Кривий Ріг: КТУ, 2004 - № 5. – С.16-20.
7. **Кузнецов В.М.** Математические модели взрывного дела. – Новосибирск: Наука, 1977. - 259 с.
8. <http://industry-portal24.ru/razrushenie/2738-udarno-volnovaya-teoriya-vzryvnogo-razrusheniya.html>
9. **Перегудов В.В., Жуков С.А.** Пути повышения качества взрывных работ при разрушении горных пород сложной структуры. – Кривой Рог: Издательский дом, 2002. – 179 с.

Рукопись поступила в редакцию 19.03.17

УДК 504.55.054:622(470.6)

В.И. ГОЛИК, д-р техн. наук, проф.,

ВНЦ РАН и Северо-Кавказский горно-металлургический институт, г. Владикавказ, Россия

Ю.И. РАЗОРЕНОВ, д-р техн. наук, проф., Северо-Кавказский горно-металлургический

институт, г. Владикавказ, Россия, В.С. МОРКУН, д-р техн. наук, проф., Криворожский национальный университет, г. Кривой Рог, Украина

## КОНЦЕПЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

**Целью** статьи является развитие концепции вовлечения в производство некондиционного металлосодержащего минерального сырья путем использования нетрадиционных методов добычи и переработки

**Методы решения** поставленной задачи включают в себя анализ горного предприятия как системы с большим количеством элементов, совокупности оптимизационных задач, и обоснование целесообразности многовариантного автоматизированного проектирования с поэтапной оптимизацией промежуточных решений.

**Научная новизна** предлагаемого материала заключается в обобщении, систематизации и формулировке основных новаций в современной добыче и переработке металлических руд.

**Практическая значимость** рекомендаций авторов состоит в возможности на каждом предприятии вовлечения в эксплуатацию отходов, которые ранее не имели промышленной ценности для существенного улучшения показателей использования недр.

**Результаты исследования:** Обосновано направление комплексного использования отходов горного производства после глубокой переработки с извлечением полезных компонентов и снижение химической опасности до уровня санитарных требований. Озвучен принцип сохранения земной поверхности от разрушения горными работами посредством управления геомеханической сбалансированностью путем закладки технологических пустот твердеющими смесями и хвостами выщелачивания металлов из руд на месте их залегания. Приведены сведения о технологии выщелачивания в дезинтеграторе с производством металлов дешевле, с меньшей затратой энергии и быстрее. Предложено сопоставлять технологии по единому критерию - прибыли с учетом ущерба от потерь полезного ископаемого в недрах и хвостах. Доказано, что вовлечение в эксплуатацию отходов, которые ранее не имели промышленной ценности, улучшает показатели использования капиталовложений и производственных фондов, а исключение необходимости хранения хвостов на земной поверхности с возвращением земли в хозяйственное пользование обеспечивает прибыль еще и за счет радикального оздоровления окружающей среды. Рекомендованы направления совершенствования разработки металлических месторождений. Предложена эколого-экономическая модель эффективности переработки некондиционного сырья по критерию максимум прибыли с учетом экологии региона.

**Ключевые слова:** отходы, переработка, земная поверхность, выщелачивание, металл, руда, дезинтегратор, потери, недра.

doi: 10.31721/2306-5435-2017-1-102-78-84