

**Ю.В. Александрова, К.С. Мальский,
В.В. Романов**

МЕТОД ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИИ КОМБИНИРОВАННОЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ*

Рассмотрен энергетический метод оценки технологии комбинированной разработки месторождения. Выявлена и обоснована актуальность энергетического метода оценки в сравнении с принятым на данный момент методом расчета. Результаты исследований позволяют сказать, что представленный метод обеспечит эффективность, надежность и экономию расходов связанных с разработкой месторождения. В качестве способа уточнения ряда упругих параметров в формулах предлагается инженерная сейсморазведка. Ключевые слова: метод, энергетический метод, энергетическая оценка, подземная разработка, комбинированная разработка, инженерная сейсморазведка.

Введение

Производство работ на горном предприятии в карьере и руднике организуется по технологическим потокам. По конструкции технологические потоки могут быть простые, сложные, разветвленные и комбинированные. В конкретных условиях выбор конструкции технологических потоков зависит от механизации горных работ и технологии разработки, а они в свою очередь зависят от физико-механических свойств горных пород, геологических условий месторождения, глубины рабочей зоны и рельефа. Энергетический анализ каждого варианта для определения минимума затрат, благодаря полному учету свойств горных пород, рабочих параметров горной и транспортной техники и технологии, позволяет объективно обеспечить этот выбор в пользу минимальных экономических затрат [1].

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-60070 мол_а_дк.

Месторождение полезного ископаемого начинается с определения возможности отработки всего или части месторождения открытым способом. При этом используется критерий граничного коэффициента вскрыши. В случае разделения запасов месторождения на способы разработки открытым и подземным способами решается вопрос очередности отработки открытым и подземным способами: сначала открытым, затем подземным или одновременно, но с некоторым отличием подземной разработки по отношению к открытой. Контур открытых горных работ в свою очередь разделяется на этапы отработки по экономичности горной массы для рабочей зоны на поверхности [2]. Варианты технологии и механизации горных работ для карьера и рудника в конкретных условиях предлагается для выбора варианта с минимальными затратами энергетическим методом с учетом их совмещения функционирования во времени [8].

Методика измерений

Метод энергетического анализа технологических потоков в карьере

На основании зависимостей взаимодействия сил воздействия в технологических процессах для производства открытых горных работ со свойствами упругой среды затраты энергии по технологическому потоку представляют сумму энергозатрат по производственным процессам.

для вскрышных технологических потоков:

$$\mathcal{E}_{\text{КВ}} = \mathcal{E}_{\text{Б}} - \mathcal{E}_{\text{В.д.}} - \mathcal{E}_{\text{Э}} - \mathcal{E}_{\text{Т}} - \mathcal{E}_{\text{О}}$$

для добычных технологических потоков:

$$\mathcal{E}_{\text{КД}} = \mathcal{E}_{\text{Б}} - \mathcal{E}_{\text{В.д.}} - \mathcal{E}_{\text{Э}} - \mathcal{E}_{\text{Т}} - \mathcal{E}_{\text{ОФ}}$$

где $\mathcal{E}_{\text{Б}}$ – удельные энергозатраты при бурении, $\mathcal{E}_{\text{В.д.}}$ – удельные энергозатраты при взрывном дроблении массива, $\mathcal{E}_{\text{Э}}$ – удельные энергозатраты при экскавации, $\mathcal{E}_{\text{Т}}$ – удельные энергозатраты при транспортировании, $\mathcal{E}_{\text{О}}$ – удельные энергозатраты при отвалообразовании бульдозером при вскрыше, $\mathcal{E}_{\text{ОФ}}$ – удельные энергозатраты в процессе переработки полезного ископаемого на обогатительной фабрике.

Метод энергетического анализа технологических потоков в руднике

Для производства подземных горных работ энергозатраты в технологическом потоке по производственным процессам так же составляют сумму:

при проведении горных выработок

$$\mathcal{E}_{\text{ГВ}} = \mathcal{E}_{\text{Б}} - \mathcal{E}_{\text{В.д.}} - \mathcal{E}_{\text{Э}} - \mathcal{E}_{\text{Т}}$$

при очистных работах

$$\mathcal{E}_{\text{ОР}} = \mathcal{E}_{\text{Б}} - \mathcal{E}_{\text{В.д.}} - \mathcal{E}_{\text{Э}} - \mathcal{E}_{\text{Т}} + \mathcal{E}_{\text{ОВ}}$$

Однако расчетная зависимость, учитывающая особенность свойств массива и специфику технологии отличается, как по содержанию, так и по величине входящих в них параметров.

Энергетический анализ технологических потоков при комбинированной разработке месторождений полезных ископаемых

- Карьер

Наиболее эффективным считается комбинированная отработка месторождения, при которой вначале отрабатывается первый этап открытым способом с автомобильным транспортом до глубины 200–250 м. Во время отработки второго этапа осуществляется проходка подземных горных выработок, которые предназначены для доставки горной массы из карьера при отработке третьего этапа совместно с отработкой первого этапа подземного рудника. Анализ энергозатрат в технологических процессах при отработке первого этапа в карьере показывает, что наибольшие энергозатраты приходятся на перемещение вскрыши и взрывное разрушение массива [9]. Применение комбинированного транспорта на открытых горных работах сокращает энергозатраты. Рассматривая в целом технологический поток на карьере возникает проблема минимизации энергозатрат по сумме технологических процессов.

- Рудник

Строительство подземного рудника начинается в момент отработки второго этапа разработки карьера. В этот период проводятся вскрывающие выработки стволы, которые используются для установления грузотранспортной связи технологического потока из третьей зоны карьера. За время отработки третьей зоны карьера проводятся нарезные и подготовительные выработки подземного рудника. Энергозатраты при проведении нарезных и подготовительных выработок подземного рудника суммируются с энергозатратами в технологических потоках третьего этапа отработки карьера.

$$\mathcal{E}_{\text{III}} = \mathcal{E}_{\text{КВ}} + \mathcal{E}_{\text{НФ}} + \mathcal{E}_{\text{ГВ}}$$

Анализ показывает, что величина затрат с доставкой горной массы по открытым горным выработкам в 3–5 раз выше, чем вариант доставки горной массы по вскрывающим выработкам подземного рудника.

Исследуя технологии буровзрывных работ при очистной выемке в блоке предусматривали определение энергозатрат при параллельном, веерном, ярусном и пучковом расположении скважин. Результаты расчета по энергетической теории показы-

вают существенное преимущество технологии с параллельным размещением взрывных скважин.

Использование инженерной сейсморазведки [3–7]

В перечисленные формулы входят следующие параметры и зависимости: σ – предел прочности горной породы при одноосном сжатии/растяжении, Па, E – динамический модуль Юнга, ρ – плотность породы. Значения этих величин могут быть найдены в лабораторных условиях или получены из таблиц. Вместе с тем, в разных точках горного массива упругие свойства могут существенно отличаться. Сейсморазведка основана на возбуждении и регистрации волн механических колебаний, которые называются упругими или сейсмическими. Инженерная сейсморазведка предоставляет возможность определения скоростей упругих волн в естественном залегании на небольших глубинах. К ним относятся скорости объемных поперечных V_S и продольных волн V_p , а также скорости поверхностных волн Рэлея V_R и Лява V_L .

При помощи эмпирических зависимостей и теоретических формул полученные данные применяются для поиска упругих свойств горного массива. Причем шаг, с которым проводится съемка, может быть уменьшен до 1–2 м, также детально будут находиться и упругие свойства пород. Например, так вычисляется предел прочности горной породы при одноосном сжатии (обозначения величин в тексте):

$$\sigma = \frac{\rho V_S^2}{0,055 \div 0,240}.$$

Инженерная сейсморазведка выполняется на бортах карьеров, в штольнях и скважинах. Основной недостаток этого метода – чувствительность к промышленным вибрациям, которые создают шумовой фон, маскирующий полезные упругие волны. Кроме того, глубинность сейсморазведки прямо зависит, от того, как далеко стоят датчики сейсмического поля от источника упругих волн. Поэтому глубина проникновения сейсмического на небольших площадках невелика.

Выводы

1. Энергетический метод анализа комбинированной разработки месторождений полезных ископаемых базируется на эффективности отработки месторождений этапами при открытой и подземной разработке месторождений.

2. Отработка третьего этапа открытой разработки должна включать затраты на вскрытие месторождения подземными горными выработками.

3. Инженерная сейсморазведка в горных выработках – способ оптимизировать энергозатраты при разработке месторождений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анистартов Ю. И.* Технологические потоки открытых горных работ. – М.: Недра, 1995.

2. *Анистартов Ю. И., Сытенков Д. В.* Энергетический анализ природных условий месторождения «Мурунтау» / Новые достижения в науках о Земле. – М.: МГГА, 1994.

3. *Кувалдин А. В., Романов В. В., Рахматуллин И. И.* Сейсморазведочные исследования при строительстве // Профессиональное образование и общество. – 2014. – № 2 (10). – С. 56–58.

4. *Романов В. В.* Применение амплитудных графиков при обработке и интерпретации данных метода преломленных волн для решения задач инженерной геологии // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2012. – № 4. – С. 56–60.

5. *Романов В. В., Мальский К. С.* Анализ возможностей изучения гидрогеологического режима карьеров и подземных горных выработок инженерной сейсморазведкой // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 6. – С. 74–78.

6. *Романов В. В., Мальский К. С., Боровой Е. А.* Определение устойчивости ботов карьеров при инженерно-геологических изысканиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 7. – С. 77–81.

7. *Романов В. В., Мальский К. С., Александрова Ю. В.* Энергетический метод расчет параметров буровзрывных работ при проведении подземных горных выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 6. – С. 271–277.

8. *Сытенков Д. В.* Анализ взаимодействия факторов горного производства при выборе оборудования карьеров / Сборник научно-технических статей. Теория и практика разработки месторождения Мурунтау открытым способом. – Ташкент: Фан, 1997.

9. *Сытенков Д. В.* Метод выбора горнотранспортного оборудования карьеров на основе рационального использования ресурсов / Материалы научно-технической конференции (с международным участием) «IS-TIQLOL-5». – Навои: НавГГИ, 1996. **ИИАС**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Александрова Юлия Викторовна*¹ – аспирант, e-mail: aleksyu21@yandex.ru,

*Мальский Кирилл Сергеевич*¹ – доцент, e-mail: sabbat@mail.ru,

*Романов Виктор Валерьевич*¹ – кандидат технических наук, доцент, e-mail: romanoff@mail.ru,

¹ Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе.

Yu.V. Aleksandrova, K.S. Mal'skiy, V.V. Romanov

**METHOD OF ENERGY ESTIMATION
OF HYBRID MINING TECHNOLOGY
BASED ON SEISMIC DATA**

This scientific article describes the energy evaluation method combined technologies of field development. Revealed and substantiated the relevance of the energy evaluation method in comparison with the decision taken at the moment by the calculation method. The results of the research allow to say that the presented method will ensure efficiency, reliability and cost savings associated with the development of the field. As a method for clarifying a number of elastic parameters in the formulas proposed near-surface seismic.

Key words: method, energy method, energy estimation, underground mining, combined development, near-surface seismic.

AUTHORS

*Aleksandrova Yu.V.*¹, Graduate Student, e-mail: aleksyu21@yandex.ru,

*Mal'skiy K.S.*¹, Assistant Professor, e-mail: sabbat@mail.ru,

*Romanov V.V.*¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,

e-mail: romanoff@mail.ru,

¹ Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze (MGRI-RSGPU), 117997, Moscow, Russia.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study has been supported by the Russian Foundation for Basic Research, Project No. 16-35-60070.

REFERENCES

1. Anistartov Yu. I. *Tekhnologicheskie potoki otkrytykh gornyx rabot* (Process flows in open pit mining), Moscow, Nedra, 1995.

2. Anistratov Yu. I., Sytenkov D. V. *Novye dostizheniya v naukakh o Zemle* (New achievements in the area of Geosciences), Moscow, MGGA, 1994.

3. Kuvaldin A. V., Romanov V. V., Rakhmatullin I. I. *Professional'noe obrazovanie i obshchestvo*. 2014, no 2 (10), pp. 56–58.

4. Romanov V. V. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka*. 2012, no 4, pp. 56–60.

5. Romanov V. V., Mal'skiy K. S. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 6, pp. 74–78.

6. Romanov V. V., Mal'skiy K. S., Borovoy E. A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 7, pp. 77–81.

7. Romanov V. V., Mal'skiy K. S., Aleksandrova Yu. V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2016, no 6, pp. 271–277.

8. Sytenkov D. V. *Sbornik nauchno-tekhnicheskikh statey. Teoriya i praktika razrabotki mestorozhdeniya Muruntau otkrytym sposobom* (Collection of scientific papers. Theory and practice of open pit mining at Muruntau deposit), Tashkent, Fan, 1997.

9. Sytenkov D. V. *Materialy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii (s mezhdunarodnym uchastiem) «IS-TIQLOL-5»* (Proceedings of Scientific–Practical Conference (with International Participation) «IS-TIQLOL-5»), Navoi, NavGGI, 1996.