

А.И. Косолапов, Д.В. Кузнецов

МЕТОДОЛОГИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ТРУДНОСТИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В СУРОВЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

На основании анализа современного состояния открытых горных работ и численных исследований разработан методологический подход для относительной оценки трудности открытой разработки месторождений в климатических условиях Севера. Алгоритм данного подхода основан на сопоставлении трудоемкости разработки карьеров, рассчитанной энергетическим методом, анализе и обобщении исходных прочностных свойств пород, параметров карьеров и параметров климата. Предложенный подход применим для всего многообразия имеющихся месторождений и справедлив для спектра современного горнотранспортного оборудования. В то же время, позволяет сравнивать то или иное конкретное месторождение с набором присущих только ему параметров и показателей. Его использование существенно облегчает затратную по времени объективную оценку, а также исключает краткосрочно действующие экономические расчеты, зависящие от инфляционных процессов и изменения рыночных цен на сырье, материалы и оборудование. Ключевые слова: суровые климатические условия, энергопоглощение горных пород, трудоемкость разработки, комплексы горнотранспортного оборудования, жесткость климата, глубина карьера, расстояние транспортирования горной массы.

На современном этапе развития геотехнологии разработка месторождений полезных ископаемых обусловлена необходимостью освоения районов с суровым северным климатом. Территорий, где, наряду с географической удаленностью, открытые горные работы ведут под влиянием низких температур воздуха, интенсивных осадков, ветра и прочих неблагоприятных климатических факторов. Вместе с тем, глубина карьеров в данных условиях достигла 500–600 м и непрерывно растет. Это выполнимо во многом за счет применения современного горно-

транспортного оборудования увеличенной мощности и расширенного спектра и особых требований к технологии горных работ.

Однако выбор наиболее конкурентоспособного месторождения с набором присущих только ему параметров и показателей в рассматриваемых условиях достаточно затруднен. Большое количество данных не позволяют оперативно произвести объективную оценку. Кроме того, при нестабильности экономической ситуации, обусловленной инфляционными процессами, динамикой курса валюты, а также частыми изменениями рыночных цен на сырье, материалы и оборудование, экономическая оценка является краткосрочно действующей.

Эти обстоятельства и послужили основанием для проведения исследований, направленных, в первую очередь, на обоснование интегрального показателя трудности открытой разработки и установления соответствия между ним и характеристиками месторождений.

В общем виде такой обобщающий показатель должен нести относительный характер и представлять многофакторную зависимость, в которой общая трудоемкость разработки месторождения будет равна сумме величин влияющих признаков (параметров месторождений).

Традиционный подход к данному вопросу предложен академиком В.В. Ржевским [1, 2]. При этом введен относительный показатель трудности разработки породы $P_{т.р}$ и показатель трудности добычи $P_{д}$:

$$P_{м.р} = \frac{1}{3} \cdot (P_{б} + P_{в} + P_{э}); \quad (1)$$

$$P_{д} = \frac{1}{4} \cdot (P_{б} + P_{в} + P_{э} + P_{т}), \quad (2)$$

где $P_{б}$, $P_{в}$, $P_{э}$, $P_{т}$ — соответственно показатели трудности бурения, взрывания, экскавации и транспортирования горной породы.

Рассчитывают перечисленные в формулах (1) и (2) показатели по общеизвестным формулам. При этом, зная удельный вес работ по отдельным процессам, можно найти величину относительного показателя трудности разработки месторождения в целом, и отнести его к одному из 5 классов и 25 категорий.

В дальнейшем развитие данного подхода получило в ряде исследований. Однако в настоящее время оно требует системного дополнения в ракурсе перечисленных выше особенностей. Это и было учтено в последующем при обосновании показателя от-

носительной оценки месторождений по трудности разработки. Причем исходили из того, что между абсолютным и относительным показателем существует зависимость. А наибольшее влияние на общие затраты, отражающие трудоемкость разработки месторождения в целом, оказывают прочностные свойства горных пород, глубина карьера, расстояние транспортирования горной массы и степень суровости климата.

С учетом этого, трудоемкость разработки месторождений определяли, используя энергетическую теорию открытых горных работ [3, 4, 5], а также результаты ранее выполненных исследований по климатическому районированию территории России и изучению влияния суровых климатических факторов на технологию, комплексную механизацию и организацию открытой разработки [6, 7, 8].

Профессор Ю.И. Анистратов предложил для выбора структуры комплексной механизации карьеров и частичного решения перечисленных задач использовать энергетический метод. Его сущность состоит в том, что для производства горных работ комплексом оборудования при определенной технологии, схеме вскрытия и способе разработки необходимо затратить энергию на дробление массива для получения требуемого состава горной массы по крупности, выемку и погрузку породы, перемещение и укладку ее в отвал. При этом энергия необходима на преодоление сопротивления в рабочих органах машин и совершение полезной работы по переводу объекта приложения энергии (горной массы) из одного состояния в другое. Причем, здесь использовано понятие «поглощение энергии», вместо «расход энергии», что конкретизирует обстоятельство ее перехода в состояние горной массы.

С учетом этого, общее выражение для расчета энергопоглощения E использовали следующее:

$$E = (E_B + E_{Вд} + E_{\text{э}} + E_T + E_O) \cdot K_1, \text{ Дж/кг}, \quad (3)$$

где E_B , $E_{Вд}$, $E_{\text{э}}$, E_T , E_O – соответственно энергопоглощение при бурении, взрывном дроблении, транспортировании и отвалообразовании, Дж/кг; K_1 – коэффициент, учитывающий влияние сурового климата.

Энергопоглощение при бурении, взрывании, транспортировании и отвалообразовании, как переменные в формуле (3), рассчитывали по рекомендациям Ю.И. Анистратова [3, 5]. При этом для каждой категории пород устанавливали взаимосвязь их прочностных свойств.

Коэффициент, учитывающий влияние климата K_1 вычисляли по зависимости:

$$K_1 = 0,9 + \frac{Ж - 0,85}{3,2}, \quad (4)$$

где $Ж$ – жесткость климата по Бодману, балл.

Или:

$$K_1 = 0,9 + \frac{0,1 \cdot S^{0,71} - 0,85}{3,2}, \quad (5)$$

где S – жесткость климата по Коху, балл.

При этом согласно нормативным документам [9] значение $Ж$ для регионов с суровым климатом варьирует от 1,6 до 2,8, а значение S от 50 до 110 баллов. Таким образом, по равнозначным зависимостям (4) и (5) коэффициент K_1 составляет от 1,1 до 1,5.

Такое обобщение показателей климатического влияния обусловлено следующими причинами. Для оценки степени суровости климата необходимо применить такой показатель, который наиболее полно учитывает природные факторы на работоспособность машин и обслуживающего персонала и, в то же время, является универсальным. Известно, что наибольшее применение на практике для условий холодного климата среди таковых нашел показатель жесткости Г. Бодмана $Ж$, рассчитываемый по формуле [10]:

$$Ж = (1 - 0,04t) \cdot (1 + 0,27v), \quad \text{балл}, \quad (6)$$

где t – температура воздуха, °С; v – скорость ветра, соответствующая данной температуре, м/с.

Именно формула (6) была использована В.В. Ржевским для районирования территории бывшего СССР [1]. Однако, видно, что в ней участвуют только два климатических фактора. П.И. Кох в своих трудах учитывает их более полное влияние и предлагает следующую зависимость для определения жесткости сурового климата S [11]:

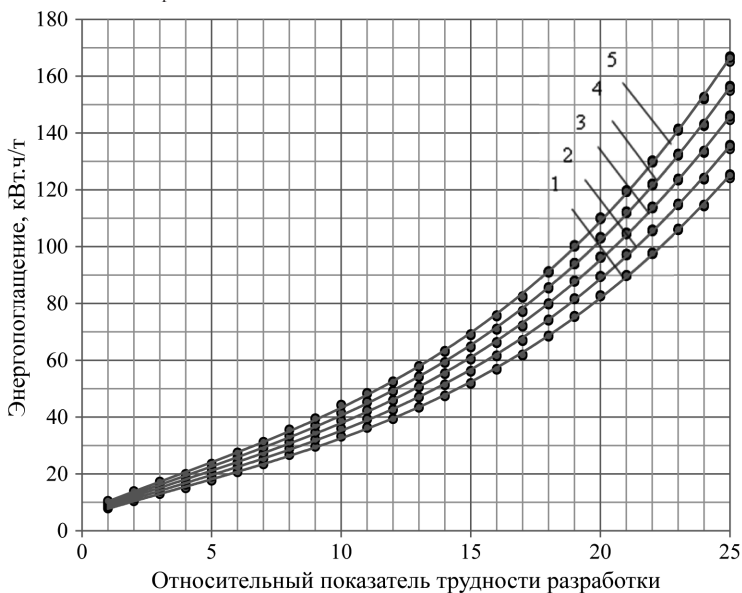
$$S = (0,75t_{\min cp} + 0,25t_{\min abc}) \cdot (1 + 0,015\sigma) \cdot (1 + 0,07v) \cdot (1 + 0,026\varphi) \cdot (1 + 0,014n_{m,m}) \cdot (1 + 0,022\tau_x), \quad (7)$$

где $t_{\min cp}$ – среднее значение среднего минимума температуры воздуха за три наиболее холодных месяца, °С; $t_{\min abc}$ – среднее значение абсолютного минимума температуры воздуха за три наиболее холодных месяца, °С; σ – средняя непериодическая амплитуда суточных колебаний температуры воздуха за три наиболее холодных месяца, °С; v – средняя скорость ветра за три наиболее холодных месяца, м/с; φ – среднее значение относи-

тельной влажности воздуха за три наиболее холодных месяца, д.ед; $n_{т.м}$ — среднее за месяц значение числа дней с туманом и метелью за три наиболее холодных месяца, дн; τ_x — продолжительность действия в месяцах средней температуры воздуха ниже 0°C .

Изложенная методика была использована для оценки около 40 тыс. вариантов, отличающихся физико-механическими характеристиками пород, различными сочетаниями современных комплексов горнотранспортного оборудования, параметрами карьеров и суровостью климата. В результате было установлено, что величина энергопоглощения колеблется от 8 до 167 кВт·ч/т. Следовательно, можно принять, что $E \leq 8$ соответствует условиям наименее труднорабатываемого месторождения ($\Pi_{т.р} \leq 1$), а $E \geq 167$ наиболее труднорабатываемого ($\Pi_{т.р} \geq 25$).

Далее в зависимости от исследуемых показателей массив данных был обработан статистическими методами и получено следующее корреляционное уравнение для расчета относительного показателя трудности разработки месторождений в суровых условиях $\Pi_{т.р}$:



Зависимости энергопоглощения от относительного показателя трудности разработки месторождений в регионах с жесткостью климата по Коху (балл): 1 — 50; 2 — 65; 3 — 80; 4 — 95; 5 — 110

Классификация месторождений по трудности разработки в суровых климатических условиях

Класс месторождений по трудности разработки	Категория	Параметры месторождений					
		$\sigma_{ж}^*$, МПа	$l_{ср}^*$, м	γ , т/м ³	H_k^* , м	$L_{тр}^*$, км	S , балл
1. Легкоразрабатываемые	1, 2, 3, 4, 5	≤ 40	$\leq 0,4$	$\leq 1,8$	≤ 200	≤ 3	≤ 50
2. Средней трудности разработки	6, 7, 8, 9, 10	> 40	$> 0,4$	$> 1,8$	> 200	> 3	> 50
		≤ 80	$\leq 0,6$	$\leq 2,4$	≤ 320	$\leq 4,5$	≤ 65
3. Трудноразрабатываемые	11, 12, 13, 14, 15	> 80	$> 0,6$	$> 2,4$	> 320	$> 4,5$	> 65
		≤ 120	$\leq 1,0$	$\leq 2,9$	≤ 500	≤ 7	≤ 80
4. Очень трудноразрабатываемые	16, 17, 18, 19, 20	> 120	$> 1,0$	$> 2,9$	> 500	> 7	> 95
		≤ 160	$\leq 1,8$	$\leq 3,3$	≤ 700	≤ 10	≤ 110
5. Чрезвычайно трудноразрабатываемые	21, 22, 23, 24, 25	> 160	$> 1,8$	$> 3,3$	> 700	> 10	> 110

$$P_{m,p} = 2,2 + 0,09\sigma_{сж} - 1,34\gamma - 2,17l_{ср} - 0,05H_k + 5,2L_{mp} - 0,0045S \quad (8)$$

В графическом виде полученные зависимости энергопоглощения от относительного показателя трудности разработки месторождений проиллюстрированы на рисунке.

При этом искомая зависимость для 25-категорийной шкалы 5-уровневой классификации, в которой разница энергопоглощения соседних классов составляет 100% имеет вид:

$$E = 11,828 \cdot e^{0,1P_{m,p}} \quad (9)$$

Решая уравнение (9) относительно $P_{тр}$ получено следующее выражение:

$$P_{m,p} = 10,068 \cdot Ln(E) - 24,873 \quad (10)$$

Предложенная на этой основе классификация месторождений с выделенными областями изменения показателей, обуславливающих трудность разработки месторождений в условиях сурового климата, представлена в таблице.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ржевский В. В.* Открытые горные работы. Ч. 1. Производственные процессы. – М.: Либроком, 2010. – 512 с.
2. *Ржевский В. В.* Открытые горные работы. Ч. 2. Технология и комплексная механизация. – М.: Либроком, 2010. – 551 с.
3. *Анистратов Ю. И.* Энергетическая теория расчета технологии открытых горных работ / Современное горное дело: образование, наука,

промышленность; материалы симпозиума. М. 29.01.96 – 2.02.96. – С. 20–29.

4. *Anistratov Y. I., Anistratov K. Y.* Classification of surface mining systems for the development of mineral deposits by energy input criterion // Russian Mining . – 2004. – № 6. – P. 11–15.

5. *Анистратов Ю. И.* Технологические потоки на карьерах. Энергетическая теория открытых горных работ. – М.: Глобус, 2005. – 304 с.

6. *Кузнецов Д. В., Малофеев Д. Е., Косолапов А. И.* Особенности обоснования технологических комплексов горнотранспортного оборудования для глубоких карьеров Севера // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 12. – С. 124–130.

7. *Косолапов А. И., Малофеев Д. Е., Кузнецов Д. В.* Обоснование условий применения технологических комплексов для разработки рудных месторождений в суровых климатических условиях // Известия вузов. Горный журнал. – 2015. – № 2. – С. 4–11.

8. *Кузнецов Д. В., Косолапов А. И., Малофеев Д. Е.* Комплексы оборудования для карьеров в суровых климатических условиях. Монография. – Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co, KG, 2016. – 135 p.

9. СП 131.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99. – М.: НИИСФ РААСН, 2012.

10. *Махно Д. Е.* Эксплуатация и ремонт карьерных экскаваторов в условиях Севера. – М.: Недра, 1984. – 133 с.

11. *Кох П. И.* Надежность механического оборудования карьеров. – М.: Недра, 1978. – 189 с. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Косолапов Александр Иннокентьевич – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой, Сибирский федеральный университет, e-mail: Kosolapov1953@mail.ru,

Кузнецов Дмитрий Владимирович – кандидат технических наук, ведущий инженер, ООО «Полюс Проект», e-mail: KuznetsovDV@mail.ru.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 4, pp. 74–81.

UDC
622.232.8

A.I. Kosolapov, D.V. Kuznetsov **ASSESSMENT METHODOLOGY RELATIVE** **OF OPENCAST MINING DIFFICULTY** **IN SEVERE CLIMATIC CONDITIONS**

Based on the opencast mining current status analysis and numerical researches, a methodological approach has been developed for relative assessment of opencast mining difficulty in severe climatic conditions of the North. The algorithm of this approach is based on comparison of the quarry development labor input calculated by an energy method with the analysis and generalization of solid initial strength properties, pits parameters and climate characteristics. The integrated estimating indicator is offered for this purpose as well as classification of fields. In the emphasized 5 classes and 25 categories the corresponding areas of solid breakdown point on monoaxial compression are set, as well as solid specific weight, rock fracturing, depth of pits, distance of rock mass transportation and climate rigidity. In multifac-

torial dependence of a relative indicator of development difficulty the outlined indicators are presented in the form of sums of the influencing characteristics variables and reflect labor input of mining in general. Along with this the size of climate rigidity quantitatively estimates the complex impact of environmental factors and their dynamics within a year. It is calculated according to geographic demarcation of the Russian territory and is right for regions with severe climate from the Arkhangelsk region to Chukotka. The suggested approach, as a first approximation, is applicable for all variety of the existing fields and is right for a range of the modern mining-transport equipment. At the same time, it allows to compare this or that specific field with a set of its own inherent parameters and indicators. Its use significantly simplifies time-consuming objective assessment, as well as it excludes short-time active economic calculations depending on inflationary processes and changes of raw materials market prices, materials and the equipment.

Key words: severe climatic conditions, energy absorption of subsurface rocks, development labor input, complexes of the mining-transport equipment, climate rigidity, pit depth, distance of mountain weight transportation.

AUTHORS

Kosolapov A.I., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Chair, Siberian Federal University, 660025, Krasnoyarsk, Russia, e-mail: Kosolapov1953@mail.ru, *Kuznetsov D.V.*, Candidate of Technical Sciences, Leading Engineer, LLC Polyus Project, 660028, Krasnoyarsk, Russia, e-mail: KuznetsovDV@mail.ru.

REFERENCES

1. Rzhhevskiy V.V. *Otkrytye gornye raboty. Ch. 1. Proizvodstvennyye protsessy* (Open pit mining. Part 1. Production processes), Moscow, Librokom, 2010, 512 p.
2. Rzhhevskiy V.V. *Otkrytye gornye raboty. Ch. 2. Tekhnologiya i kompleksnaya mekhanizatsiya* (Open pit mining. Technology and complex mechanization), Moscow, Librokom, 2010, 551 p.
3. Anistratov Yu. I. *Sovremennoe gornoe delo: obrazovanie, nauka, promyshlennost'*; materialy simpoziuma (Modern mining: education, science and industry; proceedings of the symposium. M. 29.01.96 – 02.02.96).
4. Anistratov Y.I., Anistratov K.Y. Classification of surface mining systems for the development of mineral deposits by energy input criterion. *Russian Mining*. 2004, no 6, pp. 11–15.
5. Anistratov Yu. I. *Tekhnologicheskie potoki na kar'erakh. Energeticheskaya teoriya otkrytykh gornykh rabot* (Process streams at quarries. Energetical theory of open pit mining), Moscow, Globus, 2005, 304 p.
6. Kuznetsov D. V., Malofeev D. E., Kosolapov A. I. *Gornyy informatsionno-analiticheskyy byulleten'*. 2013, no 12, pp. 124–130.
7. Kosolapov A. I., Malofeev D. E., Kuznetsov D. V. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*. 2015, no 2, pp. 4–11.
8. Kuznetsov D.V., Kosolapov A. I., Malofeev D. E. *Kompleksy oborudovaniya dlya kar'erov v surovyykh klimaticheskikh usloviyakh*. Monografiya (Complexes of equipment for open pits in severe climatic conditions. Monograph), Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co, KG, 2016. 135 p.
9. *SP 131.13330.2012. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 23-01-99* (SP 131.13330.2012. The updated edition of SNIp 23-01-99), Moscow, NIISF RAASN, 2012.
10. Makhno D. E. *Ekspluatatsiya i remont kar'ernykh ekskavatorov v usloviyakh Severa* (Exploitation and repair of mine excavators in the North conditions), Moscow, Nedra, 1984, 133 p.
11. Kokh P. I. *Nadezhnost' mekhanicheskogo oborudovaniya kar'erov* (Quarry mechanical equipment reliability), Moscow, Nedra, 1978, 189 p.