

И.О. Озмидов

РЕСУРСНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Проведены исследования макромоделей горного производства, позволяющие определить ресурсно-экологические показатели на основе материального баланса. Целесообразно ввести понятия материального коэффициента полезного действия $KPD_{г.м.}$ и коэффициента производства отходов $KPD_{отх.}$, которые позволят проанализировать работу любого производственного объекта, в том числе горного, с ресурсно-экологических позиций. Приведены оценочные расчетные значения этих показателей.

Ключевые слова: материальный баланс, ресурсы, отходы, материальный коэффициент полезного действия $KPD_{г.м.}$ (коэффициент преобразования горной массы в полезный продукт) и коэффициент производства отходов $KPD_{отх.}$, концентрат (с выходом γ_r) и хвосты (с выходом $\gamma_{хв.}$), содержание компонентов в исходном полезном ископаемом α , полученных концентратах – β и хвостах θ .

Горные предприятия непосредственно являются частью природной среды. Все процессы преобразования исходного сырья в готовый продукт также непосредственно связаны с окружающей природной средой [8].

Ресурсно-экологическое моделирование предполагает рассмотрение производственных объектов с точки зрения потребления ресурсов (минеральных и энергетических) и образования отходов производства [9, 13, 14].

В современной науке для изучения сложных, многокомпонентных объектов – природных и созданных человеком, а также сложных природных и антропогенных процессов широко применяют метод, получивший наименование моделирования [5, 7, 9].

При таком методе исследования сложный реальный объект – оригинал заменяют его схематическим образом, возникшим в сознании исследователя и отражающим наиболее существенные стороны – черты оригинала. Так же поступают и с изучаемыми процессами.

Разрабатываемые модели горных предприятий позволяют оценить существующее состояние объекта исследования, а также сделать выводы о его дальнейшем развитии с учетом изменяющихся природных, экономических и социальных условий [7, 15].

В общем случае можно выделить основные стратегические направления, анализ которых позволит обеспечить устойчивое развитие горного предприятия. К ним относятся: безопасность, окружающая среда и энергопотребление («Sustainability»); повышение производительности и эффективности производства и снижение затрат, управление инвестициями, информационная интеграция и визуализация («Operations and Technology»); бизнес-модель инноваций, управление трудовыми ресурсами и сотрудничество («People and Work») [16].

Рассмотрим работу горного производства в условиях снижения качества добываемой руды и как эти природные факторы будут влиять на работу горного производства, в том числе на образование отходов производства, т.е. на состояние окружающей природной среды, производительность и эффективность горного производства.

На первом этапе исследований представим горнодобывающий комбинат как «черный ящик», т.е. не будем рассматривать технологические процессы преобразования горной массы в готовую продукцию. На рис. 1 представлена модель горнодобывающего комбината с ресурсно-экологических позиций [9, 12, 13].

Как следует из рис. 1 для преобразования горной массы в готовый продукт горнодобывающий комбинат затрачивает энергетические, минеральные и др. ресурсы, а в окружающую среду



Рис. 1. Ресурсно-экологическая модель горного производства

поступают отходы производственной деятельности. Вскрышные породы и хвосты обогащения являются основными видами горнопромышленных отходов, оказывающих неблагоприятное воздействие на состояние окружающей среды.

Важным объектом моделирования является также горная масса рудных месторождений. Она представляет собой сложное природное образование, состоящее из полезного ископаемого, содержащего ценный компонент, и пустых – вскрышных и вмещающих пород.

Горные породы характеризуются различными показателями, среди которых качественные показатели должны занять соответствующее место [4].

Будем считать, что разработку месторождения и преобразование горной массы в готовую продукцию осуществляет горно-обогатительный комбинат. При выполнении производственного процесса комбинат решает четыре основные задачи:

- 1) удаляет из залежи вскрышные породы, закрывающие доступ к полезному ископаемому – руде, содержащей ценный компонент;

- 2) осуществляет добычу полезного ископаемого;

- 3) освобождает руду от вмещающих пород;

- 4) очищает ценный компонент от вредных примесей (в случае необходимости), обогащает его и превращает в концентрат (готовый продукт).

Первая и вторая задачи возложены на добычный комплекс комбината, а третья и четвертая – на обогатительный комплекс.

Разделение горной массы, находящейся в месторождении, на полезное ископаемое и пустые породы осуществляется с учетом особенностей: залегания и технологических свойств полезного ископаемого и пустых пород.

Породы вскрыши размещаются в отвалах, которые, как правило, располагаются на относительно небольших расстояниях от рудников. В отвалах размещаются породы вскрыши от участков открытых горных работ рудника и породы от проходки подземных горных выработок, лежалый материал отвалов не используется.

Полезное ископаемое от места добычи поступает на обогатительную фабрику, где добытая в рудниках горная масса проходит процессы дробления, грохочения, измельчения и классификации, основного обогащения полезных ископаемых с выделением концентратов и отходов (вмещающих пород). Готовый продукт (концентрат) накапливают в бункерах или складах, от-



Рис. 2. Структурная модель комплекса горных пород, образующих горную массу в месторождении рудного полезного ископаемого

куда он поступает на последующую переработку или отпускается потребителю, а отходы в виде суспензии направляются в хвостохранилища.

Структурная модель горной массы, характерной для многих рудных месторождений полезных ископаемых, представлена на рис. 2. Данная структурная модель представляет собой материальный баланс горной массы [1, 11].

Предлагаемая модель является трехуровневой. На первом (нижнем) уровне расположены вмещающие породы и полезный компонент руды – металл. На втором (среднем) уровне размещены вскрышные породы и руда – полезное ископаемое. На верхнем (третьем) уровне находится горная масса разрабатываемого месторождения, объединяющая в одно целое первый и второй уровни схематической модели.

Под балансами мы понимаем равенства между количествами вещества или энергии на «входах» и «выходах» объекта до и после осуществления в нем преобразований.

Одним из таких показателей является коэффициент вскрышных пород или вскрыши [6]. Под коэффициентом вскрыши $K_{\text{вск}}$ понимают количество вскрышных пород в тоннах или кубометрах, исчисляемое на единицу полезного ископаемого в тоннах или кубометрах. Коэффициент вскрыши называется весовым, если количества вскрышных пород и полезного ископаемого измеряются в тоннах. По нашему мнению, именно весовой коэффициент вскрышных пород обладает наибольшей определенностью для анализа материального баланса производственного объекта.

Формулы для расчета весового коэффициента $K_{\text{вск}}$ вскрышных пород имеет вид:

$$K_{\text{вск}} = M_{\text{вск}} / M_{\text{иск}}, \quad (1)$$

где $M_{\text{вск}}$ и $M_{\text{иск}}$ – количества (масса) вскрышных пород и полезного ископаемого, извлекаемых из залежи.

По аналогии с коэффициентом вскрышных пород введем новый показатель – коэффициент вмещающих пород. Под коэффициентом вмещающих пород $K_{\text{вм}}$ будем понимать отношение количества вмещающих пород в тоннах или в кубометрах к количеству полезного ископаемого в тоннах или кубометрах. Коэффициент вмещающих пород, исчисляемый в тоннах таких пород на тонну полезного ископаемого будем именовать весовым.

Весовой коэффициент $K_{\text{вм}}$ вмещающих пород рассчитывается по формуле [11]:

$$K_{\text{вм}} = M_{\text{вм}} / M_{\text{иск}}, \quad (2)$$

где $M_{\text{вм}}$ и $M_{\text{иск}}$ – количества (масса) вмещающих пород и полезного ископаемого, извлекаемых из залежи.

Основываясь на структурной модели горной массы, как комплекса горных пород, образующих горную массу месторождения рудного полезного ископаемого (рис. 2), запишем следующие уравнения [11]:

$$M_{\text{г.м.}} = M_{\text{иск}} + M_{\text{вск}} \quad (3)$$

и

$$M_{\text{иск}} = M_{\text{конц}} + M_{\text{вм}}; \quad (4)$$

где $M_{\text{конц}}$ – количество (масса) концентрата полезного компонента. Остальные члены уравнений (3) и (4) были названы выше.

Разделив правые и левые части уравнений (3) и (4) на $M_{\text{г.м.}}$ и $M_{\text{иск}}$, получим выражения для долевых коэффициентов, характеризующих состав рассматриваемых горных пород:

$$\mu_{\text{иск}} = M_{\text{иск}} / M_{\text{г.м.}} = M_{\text{иск}} / (M_{\text{иск}} + M_{\text{вск}}) = 1 / (1 + K_{\text{вск}}); \quad (5)$$

$$\mu_{\text{вск}} = M_{\text{вск}} / M_{\text{г.м.}} = M_{\text{вск}} / (M_{\text{иск}} + M_{\text{вск}}) = 1 / (1 + K_{\text{вск}}); \quad (6)$$

$$\mu_{\text{конц}} = M_{\text{конц}} / M_{\text{иск}} = 1 - K_{\text{вм}}; \quad (7)$$

$$\mu_{\text{вм.}} = M_{\text{вм}} / M_{\text{иск}} = K_{\text{вм}}; \quad (5)$$

Очевидно, что

$$\mu_{\text{иск}} + \mu_{\text{вск}} = 1 \quad (6)$$

и

$$\mu_{\text{конц}} + \mu_{\text{вм}} = 1. \quad (7)$$

Математическая обработка опытных данных по железорудным горно-обогачительным комбинатам, опубликованных в соответствующей научной и технической литературе, позволила определить интервалы числовых значений средние величины коэффициентов, характеризующих состав разрабатываемых горных пород [10].

Суммарный выход всех продуктов обогащения должен соответствовать выходу исходной обогащаемой руды, принимаемой за 100%. При разделении обогащаемой руды на два конечных продукта – концентрат (с выходом γ_k) и хвосты (с выходом γ_{xb}) – это условие запишется равенством [1]:

$$\gamma_k + \gamma_{xb} = 100\%. \quad (8)$$

Содержание компонентов в исходном полезном ископаемом α , полученных концентратах – β и хвостах θ обычно дается в процентах [1].

Обычно на горно-обогатительных комбинатах важными показателями являются показатели процесса обогащения. Для геоэкологических исследований важными показателями будут:

- количество хвостов и содержание в них полезного компонента;
- количество концентрата и содержание в нем полезного компонента.

В связи с этим для горно-обогатительного комплекса целесообразно ввести понятия коэффициента полезности горной массы или материальный коэффициент полезного действия $KПД_{г.м.}$ и коэффициента производства отходов $KПД_{отх}$ и оценить их примерные значения [11, 13].

Известно уравнение баланса компонента по руде и продуктам обогащения

$$100 \cdot \alpha = (\gamma_k \cdot \beta) + (100 - \gamma_k) \cdot \theta. \quad (9)$$

Решим это уравнение относительно γ_{xb}

$$100 \cdot \alpha = (100 - \gamma_{xb}) \cdot \beta + \gamma_{xb} \cdot \theta. \quad (10)$$

Таким образом, зная содержание компонента в руде и полученных концентрате и хвостах можно вычислить из (1) и (2) выход концентрата и выход хвостов [1].

Для γ_k можно записать:

$$\gamma_k = \frac{\alpha - \theta}{\beta - \theta} \cdot 100, \quad (10)$$

а для γ_{xb}

$$\gamma_{xb} = \frac{\beta - \alpha}{\beta - \theta} \cdot 100. \quad (11)$$

Таким образом, γ_k показывает, какая часть исходной руды является концентратом. В свою очередь γ_{xb} показывает, какая часть исходной руды попадает в отход.

Определение материального коэффициенты полезного действия и коэффициента производства отходов

α	2	4	6	8	10	12	14	16	17	20	20,25
КПД _м	1,33	6,67	12,00	17,33	22,67	28,00	33,33	38,67	41,33	49,33	50,00
КПД _{отх}	98,67	93,33	88,00	82,67	77,33	72,00	66,67	61,33	58,67	50,67	50,00

Примем, что α принимает разные значения в диапазоне от 2 до 20, при среднем значении $\theta = 1,5\%$ и $\beta = 39,0\%$ [2]:

Данные расчетов представлены в таблице.

Из таблицы видно, что при значениях содержания полезного компонента в руде менее 20,25% в отходы поступает большее количество продуктов обогащения, чем в готовый продукт. Это означает, что электроэнергия, вода и другие ресурсы расходуются более чем на 50% на производство отходов. Оборудование также в значительной мере работает на производство отходов.

Рассчитаем, насколько изменятся значения Υ_k и $\Upsilon_{хв}$ при изменении содержания полезного компонента в исходной горной массе:

При $\alpha = 9\%$, $\beta = 39\%$ и $\theta = 1,5\%$ имеем: $\Upsilon_k = 0,25$, соответственно $\Upsilon_{хв} = 0,75$.

Этот расчет показывает, что масса концентрата составляет только 25% от массы руды, поступающей на обогатительную фабрику, остальные 75% руды составляют хвосты обогащения.

При ухудшении содержания полезного компонента в руде на 2%, т.е. $\alpha = 7\%$, $\beta = 39\%$ и $\theta = 1,5\%$ имеем: $\Upsilon_k = 0,17$, соответственно $\Upsilon_{хв} = 0,83$.

Если мы примем, что количество готовой продукции в обоих случаях одинаковое, то во втором случае мы должны увеличить количество руды на входе обогатительной фабрики, т.е. увеличить добычу руды в 1,47 раза.

При снижении качества полезного ископаемого мы должны постоянно наращивать добычные работы, что приводит к резкому удорожанию готовой продукции, расходу дополнительных ресурсов на добычу и на обогащение рудной массы и увеличения количества отходов, выбрасываемых в окружающую среду.

При снижении качества руды для стабилизации работы горного производства необходимо перейти к следующему этапу моделирования горного предприятия, учитывающему связи горного и обогатительного комплексов, позволяющему разработать систему управления качеством минерального сырья на основе предконцентрации рудной массы.

Методика моделирования процесса предконцентрации рудной массы представлена в [3], однако в каждом конкретном случае она имеет свои особенности.

В условиях снижения качества добываемой руды для сохранения качества и количества готовой продукции требуется увеличение добычи руды, что в конечном итоге приводит к увеличению потребляемых ресурсов и к существенному увеличению количества выбрасываемых в окружающую среду отходов производства. Оценить количество готовой продукции и отходов производства позволяет балансовый метод. Таким образом, материальный коэффициент полезного действия $KPD_{\text{г.м.}}$ и коэффициент производства отходов $KPD_{\text{отх.}}$ можно отнести к основным ресурсно-экологическим показателям горного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамов А. А.* Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых. Т. 1. Обогащительные процессы и аппараты: Учебник для вузов. — М.: Изд-во МГГУ, 2001. — 472 с.
2. *ГОСТ 22275-90.* Концентрат апатитовый. Технические условия.
3. *Кожиев Х. Х. Ломоносов Г. Г.* Рудничные системы управления качеством минерального сырья. 2-е изд., стер. — М.: Изд-во МГГУ, 2008. — 292 с.
4. *Озмидов И. О.* Состояние информационной составляющей управления качеством минерального сырья в современных условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 6. — С. 396–399.
5. *Раскин Л. Г.* Анализ сложных систем и элементы теории оптимального управления. — М.: Сов. Радио, 1976. — 344 с. с ил.
6. *Ржевский В. В.* Технология и комплексная механизация открытых горных работ. Учебник, изд. 3, перераб. и доп. — М.: Недра, 1980. — 631 с.
7. *Хубка В.* Теория технических систем: Пер. с нем. — М.: Мир, 1987. — 208 с.
8. *Чмыхалова С. В.* Воздействие горнодобывающего предприятия на окружающую среду // Известия вузов. Горный журнал. — 2012. — № 5. — С. 80–84.
9. *Чмыхалова С. В.* Моделирование процессов потребления ресурсов и загрязнения среды на горно-обогатительных комбинатах: макроподход // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2000. — № 10. — С. 136–138.
10. *Чмыхалова С. В., Монаков А. С.* Сравнительный анализ загрязнения окружающей среды ведущими горно-обогатительными комбинатами европейской части России // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. — 2001. — № 1. — С. 29–30.
11. *Чмыхалова С. В.* Ресурсно-экологическая оценка взрываемости горных пород // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. — 2006. — № 6. — С. 51–59.

12. Чмыхалова С. В. Ресурсо-экологические показатели железорудных ГОКов (макроподход) // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2005. – № 3. – С. 45–52.

13. Чмыхалова С. В. Экологическая экспертиза, ОВОС и сертификация. Учебное пособие в 2-х ч. Часть 2. – М.: МГГУ, 2005. – 84 с.

14. Юсфин Ю. С., Леонтьев Л. И., Черноусов П. И. Промышленность и окружающая среда. Учебник для вузов. – М.: Академкнига, 2002. – 470 с.

15. Umberto Pisano. Resilience and Sustainable Development: Theory of resilience, systems thinking and adaptive governance. ESDN Quarterly Report N°26, European Sustainable Development Network, September 2012.

16. *Envisioning the Future of Mining*. IBM Global Services. Produced in the United States of America. October 2009. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Озмидов Игорь Олегович – начальник технологического отдела, АО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ», e-mail: iozmidov@mail.ru.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 4, pp. 251–260.

UDC 502.11:
316.4.051.2

I.O. Ozmidov

RESOURCES AND ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF MINING AND ESTIMATION METHODS

Macro model of mining production has been studied in order to define, on material balance, the resource and environmental performance of mining production. It is advisable to introduce the concept of material efficiency coefficient ($KПД_{т.м.}$) and the ratio of production waste ($KПД_{отх.}$), allowing to analyze the work of any production facility, including mining, regarding resource and environmental components. We present estimates of the calculated values of these parameters.

Key words: material balance, resources, waste, material efficiency coefficient ($KПД_{т.м.}$) and the ratio of production waste ($KПД_{отх.}$), concentrate (with output (Y_k) and waste (with output Y_{xb}), the contents of the components in the original minerals α , resulting concentrate – β and waste – θ .

AUTHOR

Ozmidov I.O., Head of technological Department, «MOSTDORGEOTREST», e-mail: iozmidov@mail.ru.

REFERENCES

1. Abramov A. A. Pererabotka, obogashchenie i kompleksnoe ispol'zovanie tverdykh poleznykh iskopaemykh. T. 1. Obogatitel'nye protsessy i apparaty: Uchebnik dlya vuzov (Processing, dressing and comprehensive utilization of solid minerals. Vol. 1. Dressing processes and apparatus. Textbook for high schools), Moscow, Izd-vo MGGU, 2001, 472 p.

2. *Kontsentrat apatitovyy. Tekhnicheskie usloviya. GOST 22275-90* (Apatite concentrate. Technical conditions (specifications). State Standard 22275-90).

3. Kozhiev Kh. Kh. Lomonosov G. G. *Rudnichnye sistemy upravleniya kachestvom mineral'nogo syr'ya*. 2-e izd. (Mine systems of mineral quality control, 2nd edition), Moscow, Izd-vo MGGU, 2008, 292 p.
4. Ozmidov I. O. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 6, pp. 396–399.
5. Raskin L. G. *Analiz slozhnykh sistem i elementy teorii optimal'nogo upravleniya* (The analysis of complex systems and elements of the theory of optimal control), Moscow, Sov. Radio, 1976, 344 p.
6. Rzhavskiy V. V. *Tekhnologiya i kompleksnaya mekhanizatsiya otkrytykh gornykh rabot*. Uchebnik (Technology and complex mechanization of open pit mining. Textbook, 3rd edition), Moscow, Nedra, 1980, 631 p.
7. Khubka V. *Teoriya tekhnicheskikh sistem: Per. s nem* (The theory of technical systems. Trans. from German), Moscow, Mir, 1987, 208 p.
8. Chmykhalova S. V. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*. 2012, no 5, pp. 80–84.
9. Chmykhalova S. V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2000, no 10, pp. 136–138.
10. Chmykhalova S. V., Monakov A. S. *Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse*. 2001, no 1, pp. 29–30.
11. Chmykhalova S. V. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal*. 2006, no 6, pp. 51–59.
12. Chmykhalova S. V. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal*. 2005, no 3, pp. 45–52.
13. Chmykhalova S. V. *Ekologicheskaya ekspertiza, OVOS i sertifikatsiya*. Uchebnoe posobie v 2-kh ch. Chast' 2 (Environmental impact assessment, EIA and certification. Educational aid, Part 2), Moscow, MGGU, 2005, 84 p.
14. Yusfin Yu. S., Leont'ev L. I., Chernousov P. I. *Promyshlennost' i okruzhayushchaya sreda*. Uchebnik dlya vuzov (Industry and environment. Textbook for high schools), Moscow, Akademkniga, 2002, 470 p.
15. Umberto Pisano. *Resilience and Sustainable Development: Theory of resilience, systems thinking and adaptive governance*. ESDN Quarterly Report N°26, European Sustainable Development Network, September 2012.
16. *Envisioning the Future of Mining. IBM Global Services*. Produced in the United States of America. October 2009.



Издательство «Горная книга» на «Неделе горняка-2016»