

**ГОЛИК В.И.** (Северо-Кавказский горно-металлургический институт, Владикавказ, Россия)

**ДМИТРАК Ю.В.** (Северо-Кавказский горно-металлургический институт, Владикавказ, Россия)

**БОРЩЕВСКИЙ С.В.** (Донецкий национальный технический университет, Донецк, ДНР)

## ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**Введение.** В связи с развитием подземного способа разработки месторождений полезных ископаемых и необходимости сочетания одновременно принципов ресурсо- и природосбережения нуждаются в осмыслении показатели эколого-экономической эффективности технологий добычи руд. Становится необходимым ранжирование взаимодействия показателей разработки конкретного месторождения.

**Цели и задачи.** Целью исследований в области горного производства становится приоритетным направление оптимизации способов разработки и технологических процессов добычи и переработки рудных месторождений по критерию полноты использования недр, а ранжирование показателей подземной разработки с позиций их эквивалентности в рамках единой системы получает статус актуального для развития минерально-сырьевой базы задачи.

**Методы.** Решение задачи включает моделирование параметров технологии методами математического программирования с целевыми функциями для нахождения компромиссного оптимума технико-экономических показателей горного производства в рамках динамической модели управления производственными процессами.

**Результаты.** Приведены экспериментально полученные зависимости прибыли от разубоживания, от эксплуатационных затрат и от ущерба при потерях руды на всех переделах. Даны количественные значения эквивалентности потери руды и разубоживания вмещающими породами, породами внутри рудного тела, производительности труда рабочего на очистных работах, производительности блока и производительности труда рабочего горного цеха. Приведены результаты экономико-математического моделирования вариантов технологии разработки с различной долей заполнения технологических пустот. Дана оценка вариантов разработки конкретного металлического месторождения путем сравнения значений оптимума целевых функций. Подтверждено, что наиболее сильное влияние на затраты оказывает компенсация разубоживания на этапе обогащения руд.

**Заключение.** Сделан вывод, что основным условием повышения эффективности разработки рудных месторождений является уменьшение потерь и разубоживания минерального сырья, в том числе путем реализации результатов математического программирования по критерию оптимальности с учетом ущерба от потерь и разубоживания, а также установлением эквивалентных соотношений между количественными и качественными показателями разработки месторождения.

**Ключевые слова:** подземный способ разработки, технология, рудное месторождение, показатели, потери, разубоживание, эквивалентность, эксперимент

### Введение

Приоритетной целью исследований в области горного производства становится оптимизация способов разработки и технологических процессов добычи и переработки по критерию полноты использования недр [1–3].

При оценке эколого-экономической эффективности проектируемой технологии разработки месторождений возникает проблема оптимального взаимодействия показателей разработки, без чего расчеты

теряют смысл. Поэтому ранжирование показателей подземной разработки с позиций их эквивалентности или равнозначности в рамках единой системы является актуальной задачей.

### Цели и задачи

Задача предполагает построение динамической модели управления предприятием на основе применения статистических методов исследования, методов математического программирования и поиска оптимальных решений с использовани-

ем в качестве критерия оптимальности величины затрат на добычу с учетом качества добываемого сырья [4–8].

Целью настоящего исследования является установление эквивалентных соотношений между количественными и качественными показателями разработки рудного месторождения в пределах конкретного месторождения.

### Методы

Решение проблемы и ресурсосбережения, и охраны окружающей среды одновременно включает в себя моделирование параметров технологии путем решения задачи математического программирования с целевыми функциями, определяющими значения параметров. При этом решение может иметь вид компромиссного оптимума, удовлетворяющего сочетанию нередко противоречащих критериев [9–11].

Инструментом решения задачи комплексного использования запасов и охраны природных ресурсов может быть поиск удовлетворяющих сочетанию компромиссного оптимума критериев в рамках динамической модели управления производственными процессами.

### Результаты

Зависимость прибыли предприятия от переменных величин может быть описана выражением:

$$\Pi_{y,t} = F(Y, Z, R),$$

где  $\Pi$  – прибыль;  $Y$  – ущерб от потерь балансовой руды на 1 т погашаемых запасов;  $Z$  – условно-переменные эксплуатационные затраты на 1 т запасов;  $R$  – коэффициент разубоживания.

Влияние каждого из моделируемых факторов определяется при изменении значений одного из них при постоянном значении других. Расчеты проводятся чаще всего с помощью математического пакета прикладных программ Maple 9.5.

При фиксированном значении факторов  $Y$  и  $Z$  табличная величина результирующего показателя прибыли:

$$\Pi = 68,614 - \frac{5,187 + 3,367R}{1 - R}.$$

График зависимости конвертирован из пакета Maple 9.5 (рис. 1).

Максимальное значение прибыли  $\Pi = 63,4$  руб/т (цены 1990 г.) достигается при  $R = 0,07$ . Величина прибыли на верхней прямой равна 62,7 руб/т (уменьшение на 1 %), а на нижней прямой – 61,55 руб/т (уменьшение на 3 %) и соответствует разубоживанию  $R = 0,18$ . При увеличении коэффициента разубоживания до 0,6 величина прибыли снижается до 50,5, или более, чем на 20 %. При табличных значениях факторов  $Y$  и  $R$  зависимость прибыли  $\Pi$  от эксплуатационных затрат  $Z$  показана на рис. 2:

$$\Pi = 68,36 - 0,9873Z.$$

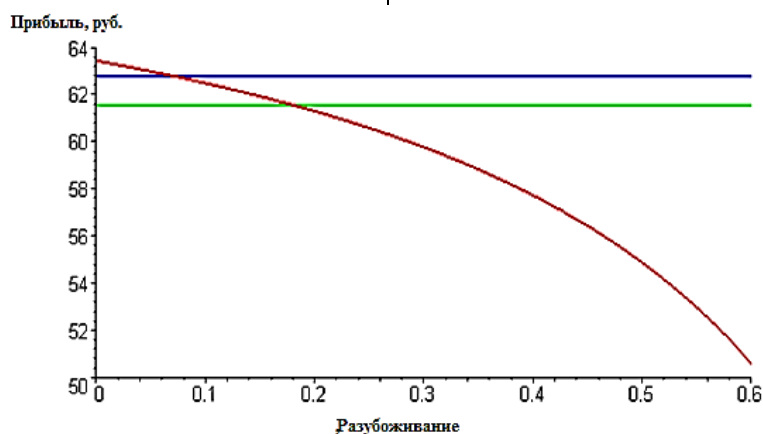


Рис. 1. Зависимость показателя прибыли от разубоживания

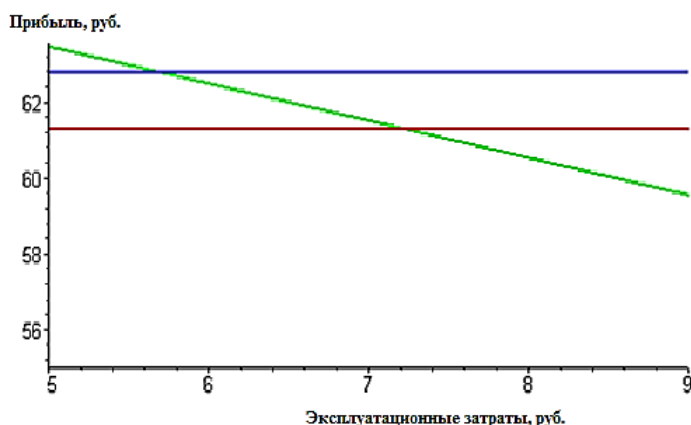


Рис. 2. Зависимость показателя прибыли от эксплуатационных затрат

Значение прибыли на верхней прямой 62,7 руб/т соответствует значению  $Z=5,7$  – затраты по первому варианту, а на нижней прямой – 61,3 руб/т и соответствует значению  $Z=7,2$  или величине затрат по второму варианту.

При табличном значении факторов  $Z$  и  $R$  зависимость прибыли  $\Pi$  от потерь руды  $У$  (рис. 3):

$$\Pi = 67,233 - У.$$

Прибыль на верхней прямой равна 65,4 руб/т (уменьшение на 2,7 %), а на нижней прямой равна 61,8 руб/т (уменьшение на 8 %).

С изменением разубоживания на 1 % прибыль в точке  $R=0,07$  изменится на 10 %, в точке  $R=0,18$  – на 12,8 %, в точке  $R=0,6$  – на 54,8 %.

С изменением эксплуатационных затрат на 1 % прибыль изменяется на

1,4 %, а с изменением ущерба от потери балансовой руды на 1 % – на 3,6 %.

Отсюда потери 1 % руды с содержанием металла 20 кг/т равноценны (рис. 4):

- 5 % разубоживания вмещающими породами с содержанием металла 10 кг/т;
- 16 % разубоживания породами внутри рудного тела с содержанием 10 кг/т;
- 24 % производительности труда рабочего на очистных работах;
- 18 % производительности блока;
- 14 % производительности труда рабочего горного цеха.

При одинаковой ценности руды 75,5 руб/т (по состоянию на 1990 г.) сравниваются варианты технологии с различной долей заполнения пустот, в том числе, без заполнения, руб/т (табл. 1).

Результаты моделирования приведены на рис. 5.

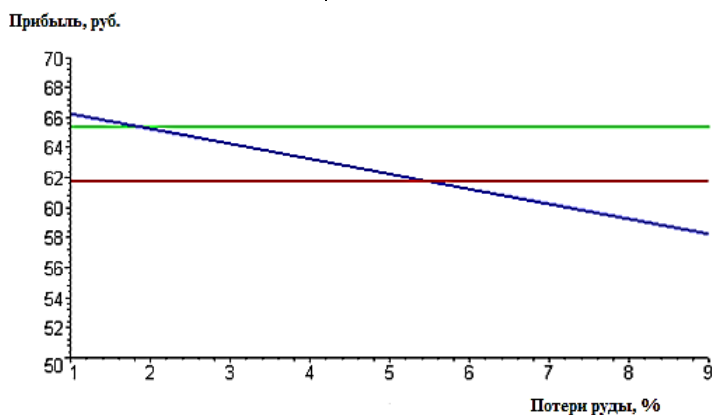
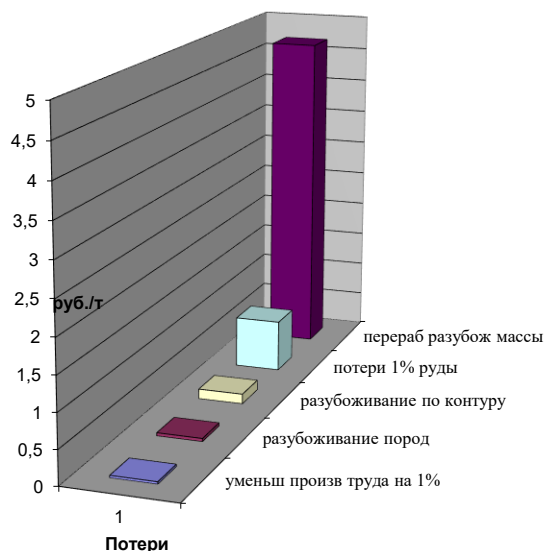
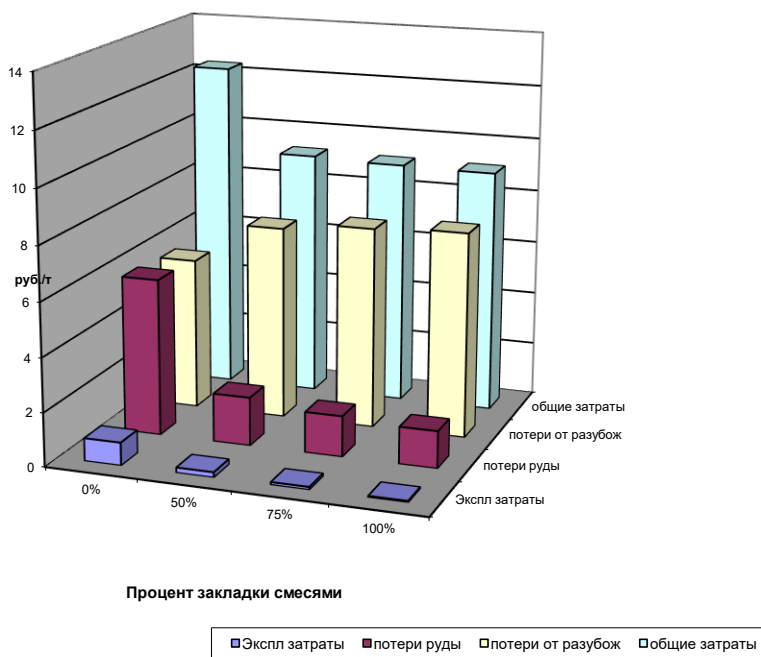


Рис. 3. Зависимость прибыли от ущерба при потере балансовой руды



**Рис. 4. Соотношение между параметрами добычи:**

1 – переработка разубоживающих пород; 2 – потери 1 % руды; 3 – разубоживание вмещающими породами; 4 – разубоживание внутриконтурными породами; 5 – снижение производительности труда на 1 %



**Рис. 5. Эффективность закладки пустот:**

1 – суммарные затраты, руб/т; 2 – потери от разубоживания, руб/т; 3 – потери руды; 4 – эксплуатационные затраты

**Таблица 1**

**Исходные данные для моделирования, руб/т**

Показатели	Без закладки	С закладкой смесями, %		
		50	75	100
Эксплуатационные затраты	5,68	7,21	7,50	7,64
Ущерб запасам от потерь балансовой руды	5,84	1,81	1,52	1,38
Ущерб запасам от разубоживающей массы	0,85	0,19	0,10	0,05
Затраты с учетом ущерба и погашения	12,34	9,21	9,12	9,08

Объем образованных пустот, свойства твердеющих смесей и прочность пород являются взаимозависимыми факторами, поэтому модель разработки месторождения обладает свойством гетероскедастичности. Анализ статистических рядов на основе ранговой корреляции Кендалла показывает, что реакция массива на технологическое вмешательство определяется параметрами уменьшения зоны влияния пустот путем закладки их твердеющими смесями [12].

Варианты подземной разработки месторождений принципиально различаются способами управления массивом: без заполнения пустот (вариант 1) и с заполнением пустот (вариант 2).

При использовании первого варианта при меньших эксплуатационных расходах увеличиваются потери и разубоживание руд. При втором варианте потери и

разубоживание руды существенно уменьшаются, но возрастают расходы на закладку твердеющими смесями.

Оценка вариантов разработки проводится сравнением значений оптимума целевых функций и выбором значений параметров, соответствующих точке оптимума по конечной продукции (табл. 2).

Количественная зависимость прибыли предприятия от потерь и разубоживания интерполируется средствами информационных технологий на случай объектов большой размерности с применением среды XML и расчетом параметров модели, а также вычислением на основе генетических оптимизационных алгоритмов с нахождением области оптимальных значений [13–15].

По плану Бокса определены граничные условия независимых переменных (табл. 3, 4).

Таблица 2

Технико-экономические показатели вариантов разработки

Показатели	Вариант 1	Вариант 2
Удельный вес технологии, %	100	100
Объем очистной выемки на 1 т запасов, м <sup>3</sup> /т	0,63	0,52
Расход ГПР на 1 т запасов, м <sup>3</sup> /т	0,09	0,06
Потери, %	15	5
Разубоживание, %	30	15
Доля руды, поступающей на РОФ, %	50	50
Средний выход хвостов обогащения, %	21	21
Месячная производительность блока, тыс/м <sup>3</sup>	1,6	1,8
Годовая производительность блока, тыс/м <sup>3</sup>	18,8	21,2
Трудоемкость очистной выемки, чел. см/м <sup>3</sup>	0,11	0,98
Отрабатываемые балансовые запасы, %	100	100
Выход руды на 1 т балансовых запасов, т/т	1,2	1,8
Количество добытой горной массы, %	105	100
Качество добытой руды, %	90	100
Извлечение металла, %	91	100
Затраты на выемку 1 м <sup>3</sup> горной массы, руб/м <sup>3</sup>	16,3	21,2
Прибыль на 1 т балансовых запасов, руб/т	52,2	57,2
Экономический эффект на 1 т запасов, руб/т	-4,5	-
Годовой экономический эффект (ущерб), тыс. руб.	-1700	-

Таблица 3

Границы независимых переменных для варианта 1

Уровни	Нижний (-1)	Средний (0)	Верхний (+1)	Интервал Δ
Потери руды, %	10	20	30	10
Разубоживание породами, %	20	40	60	20
Извлечение металла	60	70	80	10
Прибыль на 1 т запасов	-40	-50	-60	10

Таблица 4

## Границы независимых переменных для варианта 2

Уровни	Нижний (-1)	Средний (0)	Верхний (+1)	Интервал Δ
Потери руды, %	3	6	9	3
Разубоживание породами, %	5	10	15	5
Извлечение металла	70	80	90	10
Прибыль на 1 т запасов	+20	+35	+50	15

Таблица 5

## Граничные условия независимых переменных

Уровни	Нижний (-1)	Средний (0)	Верхний (+1)	Интервал Δ
Затраты на добычу руды Z, руб.	200	300	400	100
Добыча руды $X_1$ , тыс. т	80	100	120	20
Содержание металлов $X_2$ , %	2	4	6	2
Потери руды $X_3$ , тыс. т	5	15	20	5
Разубоживание $X_4$ , %	20	40	60	20

В полученных границах построены модели технологий по вариантам (табл. 5).

Модель зависимости Z – затрат на добычу от факторов  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_4$  имеет вид:

$$Z = -1,572X_1 - 0,6014X_2 + 1,3897X_3 - 17,037X_4 + 0,3073X_1^2 + 0,5159X_2^2 - 0,2123X_3^2 + 35,402X_4^2 - 1,8129X_1X_2 + 2,1476X_1X_3 - 0,2259X_1X_4 - 1,6698X_2X_3 - 1,8389X_2X_4 + 0,3533X_3X_4,$$

где  $X_1$  – добыча руды;  $X_2$  – содержание металлов в руде;  $X_3$  – потери руды;  $X_4$  – разубоживание руды.

Гипотеза проверена по критерию Фишера на уровне значимости 5 % и принята правдоподобной, что позволяет рассматривать зависимость в качестве модельной для определения затрат предприятия на добычу руды.

Значение разубоживания составляет 65–67 %, что позволяет использовать этот показатель в качестве критерия оптимизации.

Коэффициенты перед выражениями  $X_4$  и  $X_4^2$  по модулю на порядок больше остальных коэффициентов, что указывает на то, что фактор  $X_4$  (разубоживание) в качестве критерия оптимизации выбран правильно.

Значения параметров оптимизационной задачи составили: добыча руды – 200 тыс. т/год, содержание металлов в руде – 5 %, потери 6 %, разубоживание

25 %. Значение затрат в точке оптимума составило 280 руб/т в ценах 1990 г.

Моделированием подтверждается, что наиболее сильное влияние на затраты оказывает компенсация разубоживания на этапе горного передела [16].

Перспективным направлением модернизации технологий подземной разработки месторождений является их комбинирование. Извлекаемая ценность руды повышается после ее обогащения и металлургического передела, поэтому процесс оптимизации производства металлов должен осуществляться способом компромиссного оптимума нахождением такой точки, в которой значение целевой функции близко к оптимальному по каждому из переделов в отдельности. Это положение является основой в том числе освоения новых технологий добычи металлов [17–20].

**Заключение**

Основным условием повышения эффективности является уменьшение

потерь и разубоживания руд и утилизация выданного на поверхность некондиционного минерального сырья.

Поставленная цель достигается привлечением методов математического программирования с анализом традиционной и инновационной технологий добычи руд по критерию оптимальности с учетом ущерба от потерь и разубоживания и установлением эквивалентных соотношений между количественными и качественными показателями разработки.

### Библиографический список

1. Brzovica A., Villaescusa E. Rock Mass Characterization and Assessment of Block-Forming Geological Discontinuities during Caving of Primary Copper Ore at the El Teniente Mine, Chile // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2007. Vol. 44. Pp. 565–583.
2. Воробьев А.Е., Голик В.И., Пагиев К.Х., Цирихова Э.М., Котенко Е.А., Шестаков В.А., Исаев К.С. Научные технологии добычи и переработки руд. – Владикавказ: Терек, 1998. – 510 с.
3. Haifeng Wang, Yaqun He, Chenlong Duan, Yuemin Zhao, Youjun Tao, Cuiling Ye. Development of Mineral Processing Engineering Education in China University of Mining and Technology // *Advances in Computer Science and Engineering*. AISC 141. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2012. Pp. 77–83.
4. Golik V.I., Stradanchenko S.G., Maslennikov S.A. Experimental study of non-waste recycling tailings ferruginous quartzite // *International Journal of Applied Engineering Research*. 2015. T. 10. № 15. С. 35410-35416.
5. Jang H., Topal E., Kawamura Y. Decision support system of unplanned dilution and ore loss in underground stoping operations using a neuro-fuzzy system / *Applied Soft Computing Journal*. 2015. Vol. 32. Pp. 1–12.
6. Golik V.I., Razorenov Yu.I., Efremkov A.B. Recycling of metal ore mill tailings // *Applied Mechanics and Materials*. 2014. T. 682. С. 363-368.
7. Polukhin O.N., Komashchenko V.I., Golik V.I., Drebenstedt C. Substantiating the possibility and expediency of the ore beneficiation tailings usage in solidifying mixtures production // *Scientific Reports on Resource Issues Innovations in Mineral Resource Value Chains: Geology, Mining, Processing, Economics, Safety, and Environmental Management*. Freiberg, 2014. С. 402-412.
8. Singh R., Rath R., Nayak B., Bhattacharyya K. Development of process for beneficiation of low-grade iron ore samples from orissa, India // *XXV International Mineral Processing Congress. IMPC–2010*. – Pp. 1235–1241.
9. Чунуев И. К. // *Известия КТУ им. И. Раззакова*. 2014. № 33. С. 554–557.
10. Юн А. Б., Рыльникова М. В., Терентьева И.В. О перспективах и стратегии освоения Жезказганского месторождения // *Горный журнал*. 2015. № 5. С. 44–49.
11. Weijing Wang, Shaofeng Huang, Xiaobo Wu, Qingfei Ma. Calculation and Management for Mining Loss and Dilution under 3D Visualization Technical Condition // *Journal of Software Engineering and Applications*. 2011. Vol. 4. Pp. 329–334.
12. Zhen-Dong Liu, Gan-Jiang Tao, Qing-Yun Ren, Dong-Sheng Yang. Calculation of loss ratio and dilution ratio on end ore drawing based on random medium ore drawing theory // *Meitan Xuebao/Journal of the China Coal Society*. 2011. Vol. 36(4).
13. Каплунов Д. Р., Рыльникова М. В., Радченко Д. Н. Научно-методические основы проектирования экологически сбалансированного цикла комплексного освоения и сохранения недр Земли // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015. № 4 (специальный выпуск № 15). С. 5–11.
14. Комащенко В.И., Васильев П.В., Масленников С.А. Технологиям подземной разработки месторождений КМА – надежную сырьевую основу // *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2016. № 2. С. 101-114.
15. Пучков Л.А. Прогноз минерально-энергетического потребления при бескризисном развитии экономики // *Горный журнал*. – 2014. – № 7. – С. 45–48.
16. Дмитрак Ю.В., Камнев Е.Н. АО «Ведущий проектно-исследовательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии» - Путь длиной в 65 лет // *Горный журнал*. – 2016. – № 3. – С. 6-12.
17. Хашева З.М. Факторы формирования кризисных ситуаций в региональной экономической системе // *Социально-экономические проблемы развития Южного макрорегиона*. Сб. науч. тр. – Краснодар, 2011. – С. 94-103.
18. Аренс В.Ж., Гридин О.М., Крейнин Е.В., Небера В. П., Фазлуллин М. И., Хрулёв А. С., Хчян Г. Х. Физико-химическая геотехнология. – М.: Горная книга, 2010. – 574 с.

19. Бабкин В. В., Успенский Д.Д. Новая стратегия. Химия–2030. Высокие пределы сырья. Кластеризация. Химизация индустрии РФ. – М. : Лика, 2015. – 222 с.
20. Вильчинский В.Б., Трофимов А.В., Корейво А.Б., Галаов Р.Б., Марысюк В.П. Обос-

нование целесообразности применения систем разработки с закладочными смесями на рудниках Талнаха // Цветные металлы. – 2014. – № 9. – С. 23-28.

“Gornye nauki i tehnologii”/ “Mining science and technology”, 2018, No. 1, pp. 38-45

<b>Title:</b>	<b>EQUIVALENT RELATIONSHIPS BETWEEN INDICATORS OF UNDERGROUND MINING OF ORE DEPOSITS</b>
<b>Author 1:</b>	Name & Surname: <b>Vladimir I. Golik</b> ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-1181-8452">https://orcid.org/0000-0002-1181-8452</a> Company: <b>North-Caucasian mining and metallurgical Institute</b> Address: <b>44, str. of Cosmonaut Nikolayev, Vladikavkaz, Russia, 362021</b> Scientific Degree: <b>Dr. Sci. (Tech.)</b> Contacts: <b>v.i.golik@mail.ru</b>
<b>Author 2:</b>	Name & Surname: <b>Yury V. Dmitrak</b> Company: <b>North-Caucasian mining and metallurgical Institute</b> Address: <b>44, str. of Cosmonaut Nikolayev, Vladikavkaz, Russia, 362021</b> Scientific Degree: <b>Dr. Sci. (Tech.)</b>
<b>Author 3:</b>	Name & Surname: <b>Sergey V. Borshevsky</b> Company: <b>Donetsk National Technical University (DonNTU)</b> Address: <b>58, Artema str., Donetsk, Donetsk People's Republic, 83001</b> Scientific Degree: <b>Dr. Sci. (Tech.)</b> Contacts: <b>donntu.info@mail.ru</b>
<b>DOI:</b>	<b>10.17073/2500-0632-2018-1-38-45</b>
<b>Abstract:</b>	In connection with development of underground mining method and the need to combine the principles of resource saving and natural environment protection, the indicators of the cost/environmentally-effective ore mining techniques need to be understood. It becomes necessary to rank the development indicators for a particular deposit. The mining effectiveness criterion in terms of completeness of subsoil resource use becomes the research objective, with ranking indicators of underground mining effectiveness. The problem solution includes modeling of a method parameters using mathematical programming methods with target functions to find a compromise optimum of mining performance indicators in the framework of a dynamic model for managing production processes. The experimentally obtained dependences of profit on dilution, operating costs, and ore losses at all mining stages are given. The quantitative indicators of ore losses and dilution by hosting rocks, rocks inside an ore body, a stoping worker labor productivity, a block productivity, and labor productivity of a worker in mining shop are given. The results of economic and mathematical modeling of development method options with different proportions of technological void back-filling are presented. An assessment of the development options for specific metal deposit is given by comparing the optimum values of the target functions. Compensation of dilution in the ore beneficiation stage has been proven to have the most significant effect on costs. It is concluded that the main condition for increasing ore deposit development efficiency is reducing losses and dilution of ores, including through optimization based on mathematical modeling with balancing quantitative and qualitative performance indicators of a deposit development.
<b>Keywords:</b>	underground mining, methods, ore deposit, performance indicators, losses, dilution, equivalence, experiment.
<b>References:</b>	1. Brzovica A., Villaescusa E. <i>Rock Mass Characterization and Assessment of Block-Forming Geological Discontinuities during Caving of Primary Copper Ore at the El Teniente Mine, Chile</i> . Int. Journal of Rock Mechanics and Mining



- Sciences, 2007, vol. 44, pp. 565–583.
2. Vorob'ev A.E., Golik V.I., Pagiev K.H., Cirihoва E.H.M., Kotenko E.A., SHestakov V.A., Isaev K.S. Naukoemkie tekhnologii dobychi i pererabotki rud [*High technologies of extraction and processing of ores*]. Vladikavkaz, Terek, 1998, 510 p.
  3. Haifeng Wang, Yaqun He, Chenlong Duan, Yuemin Zhao, Youjun Tao, Cuiling Ye. *Development of Mineral Processing Engineering Education in China University of Mining and Technology*. Advances in Computer Science and Engineering. AISC 141, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2012, pp. 77-83.
  4. Golik V.I., Stradanchenko S.G., Maslennikov S.A. *Experimental study of non-waste recycling tailings ferruginous quartzite*. Int. Journal of Applied Engineering Research, 2015, vol. 10, no. 15, pp. 35410-35416.
  5. Jang H., Topal E., Kawamura Y. *Decision support system of unplanned dilution and ore-loss in underground stoping operations using a neuro-fuzzy system*. Applied Soft Computing Journal, 2015, vol. 32, pp. 1-12.
  6. Golik V.I., Razorenov Yu.I., Efremenkov A.B. *Recycling of metal ore mill tailings*. Applied Mechanics and Materials, 2014, vol. 682, pp. 363-368.
  7. Polukhin O.N., Komashchenko V.I., Golik V.I., Drebenstedt C. *Substantiating the possibility and expediency of the ore beneficiation tailings usage in solidifying mixtures production*. Scientific Reports on Resource Issues Innovations in Mineral Resource Value Chains: Geology, Mining, Processing, Economics, Safety, and Environmental Management, Freiberg, 2014, pp. 402-412.
  8. Singh R., Rath R., Nayak B., Bhattacharyya K. *Development of process for beneficiation of low-grade iron ore samples from orissa, India*. XXV Int. Mineral Processing Congress, IMPC, 2010, pp. 1235–1241.
  9. Chunuev I. K. Metodika opredeleniya kachestva porodnyh massiva na nachal'nyh stadiyah proektirovaniya. Programma DIPS [*The method of determining the quality of the rock mass in the initial design stages. The program DIPS*]. Journal of KSTU. I. Razzakova, 2014, no. 33, pp. 554-557.
  10. Yun A. B., Ryl'nikova M. V., Terent'eva I. V. O perspektivah i strategii osvoeniya ZHezkazganskogo mestorozhdeniya [*On the prospects and strategy for the development of the Zhezkazgan deposit*]. Gornyi Zhurnal = Mining Journal, 2015, no. 5, pp. 44-49.
  11. Weijing Wang, Shaofeng Huang, Xiaobo Wu, Qingfei Ma. *Calculation and Management for Mining Loss and Dilution under 3D Visualization Technical Condition*. Journal of Software Engineering and Applications. 2011. Vol. 4. P. 329–334.
  12. Zhen-Dong Liu, Gan-Jiang Tao, Qing-Yun Ren, Dong-Sheng Yang. *Calculation of loss ratio and dilution ratio on end ore drawing based on random medium ore drawing theory*. Meitan Xuebao, Journal of the China Coal Society, 2011, vol. 36(4).
  13. Kaplunov D. R., Ryl'nikova M. V., Radchenko D. N. Nauchno-metodicheskie osnovy proektirovaniya ehkologicheskoi sbalansirovannogo cikla kompleksnogo osvoeniya i sohraneniya nedr Zemli [*Scientific and methodological basis for designing an ecologically balanced cycle of integrated development and conservation of the Earth's interior*]. Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten', 2015, no. 4 (spec. issue no. 15), pp. 5–11.
  14. Komashchenko V.I., Vasil'ev P.V., Maslennikov S.A. Tekhnologiyam podzemnoj razrabotki mestorozhdenij KMA – nadezhnyu syr'evuyu osnovu [*The technology of underground mining of KMA deposits is a reliable raw material base*]. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle, 2016, no. 2, pp. 101-114.
  15. Puchkov L.A. Prognoz mineral'no-ehnergeticheskogo potrebleniya pri beskrizisnom razvitii ehkonomiki [*Forecast of mineral and energy consumption in the crisis-free economy*]. Gornyi Zhurnal = Mining Journal, 2014, no. 7, pp. 45–48.
  16. Dmitrak Ju.V., Kamnev E.N. AO «Vedushhij proektno-izyskatel'skij i



nauchno-issledovatel'skij institut promyshlennoj tehnologii» – Put' dlinoj v 65 let [*JSC The Leading Research and Design Institute of Industrial Technologies – A long way in 65 years*]. Gornyi Zhurnal = Mining Journal, 2016, no. 3, pp. 6-12.

17. Hasheva Z.M. Faktory formirovaniya krizisnyh situacij v regional'noj ehkonomie sisteme. Social'no-ehkonomie probleme razvitiya Yuzhnogo makroregiona. Sbornik nauchnyh trudov. [*Factors in the formation of crisis situations in the regional economic system. s*]. Socio-economic problems of the development of the Southern macroregion. Collect. of Sci. Papers. Krasnodar, 2011. S. 94-103.

18. Arens V.ZH., Gridin O.M., Krejnin E.V., Nebera V.P., Fazlullin M.I., Hrulyov A.S., Hcheyan G.H. Fiziko-himicheskaya geotekhnologiya. []. Moscow, Gornaya kniga, 2010, 574 p.

19. Babkin V. V., Uspenskij D. D. Novaya strategiya. Himiya-2030. Vysokie peredely syr'ya. Klasterizaciya. Himizaciya industrii RF [*A new strategy. Chemistry-2030. High redistribution of raw materials. Clustering. Chemicalization of the industry of the Russian Federation*]. Moscow, Lika, 2015, 222 p.

20. Vil'chinskij V. B., Trofimov A. V., Korejvo A. B., Galaov R. B., Marysyuk V.P. Obosnovanie celesobraznosti primeneniya sistem razrabotki s zakladochnymi smesyami na rudnikah Talnaha [*Substantiation of expediency of application of development systems with back-filling mixtures in Talnakh mines*]. Cvetnye metally, 2014, no. 9, pp. 23–28.