

УДК 622.271:622.7.012

Луценко С.А., канд. техн. наук, доцент  
(Государственное ВУЗ «КНУ»)

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ,  
ПО ГОРНЫМ ВОЗМОЖНОСТЯМ, ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КАРЬЕРА  
ПО РУДЕ**

Луценко С.О., канд. техн. наук, доцент  
(Державний ВНЗ «КНУ»)

**РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ,  
ЗА ГІРНИЧИМИ МОЖЛИВОСТЯМИ, ПРОДУКТИВНОСТІ КАР'ЄРУ  
ЗА РУДОЮ**

Lutsenko S.A., Ph.D. (Tech.), Associate Professor  
(State HEI "KNU")

**DEVELOPMENT OF METHOD FOR DETERMINING MAXIMAL ORE  
OUTPUT BASING ON THE OPEN-PIT RESOURCE AVAILABILITY**

**Аннотация.** Производительность по руде один из основных параметров карьера, определяющих экономические показатели открытой разработки любого месторождения полезных ископаемых. Целью исследований является усовершенствование методов определения производительности карьера по руде с учетом условия наличия в карьере необходимого объема готовых к выемке запасов.

В основу метода определения производительности карьера по руде положена идея: производительность карьера должна определяться не только исходя из максимальной интенсивности развития горных работ (максимальной расстановки добычных экскаваторов), но и с учетом взаимосвязи ширины рабочей площадки и длины активного фронта горных работ, которые обеспечивают в карьере необходимый объем готовых к выемке запасов. Реализация этой идеи осуществлялась за счет установления степени влияния ширины рабочей площадки на длину фронта горных работ и объем готовых к выемке запасов.

Результаты выполненных исследований могут быть использованы проектными организациями и горнодобывающими предприятиями при определении производительности карьеров.

**Ключевые слова:** ширина рабочей площадки, длина фронта горных работ, производительность карьеров, готовые к выемке запасы.

**Введение.** Правильное определение производственной мощности карьера в процессе проектирования имеет огромное значение, так как все технико-экономические показатели работы зависят от нее.

Производственная мощность карьера по добыче полезного ископаемого, часто бывает заданной. В этом случае обоснование этой мощности сводится главным образом к анализу горнотехнических условий и установлению технической возможности и экономической целесообразности добычи полезного ископаемого в заданном объеме [1]. Но независимо от этого, в любом проекте обязателен расчет максимально возможной по горнотехничес-

ким условиям производительности от начала до конца отработки карьера. Установленная таким образом производительность является верхним пределом производительности в области поиска ее требуемого значения.

В современных экономических условиях, особенно на месторождениях с большими запасами, наибольший экономический эффект достигается при производственной мощности карьера, максимально возможной по горнотехническим факторам и условиям сбыта продукции.

Ритмичность и бесперебойность добычи полезного ископаемого в карьере может быть нарушена из-за неравномерности удаления вскрышных пород, возможных отклонений фактического времени вскрытия и подготовки новых горизонтов от планируемого, не подтверждения балансовых запасов в карьере, изменения содержания полезных компонентов в рудном теле. При этом уменьшить либо полностью устранить влияние этих факторов на работу добычного участка можно за счет создания определенного страхового запаса руды в карьере [2]. Такую функцию страхового запаса выполняют в карьере запасы руды готовые к выемке.

Создание готовых к выемке запасов достигается путем расширения рабочих площадок на ширину резервной полосы, размер которой зависит от производительности карьера по руде и длины активного фронта горных работ. В свою очередь, увеличение ширины рабочей площадки приводит к сокращению длины активного фронта горных работ и производительности карьера по руде [3]. Это говорит о том, что между шириной рабочей площадки, обеспечивающей нормативный запас руды готовый к выемке и производительностью карьера существует взаимосвязь.

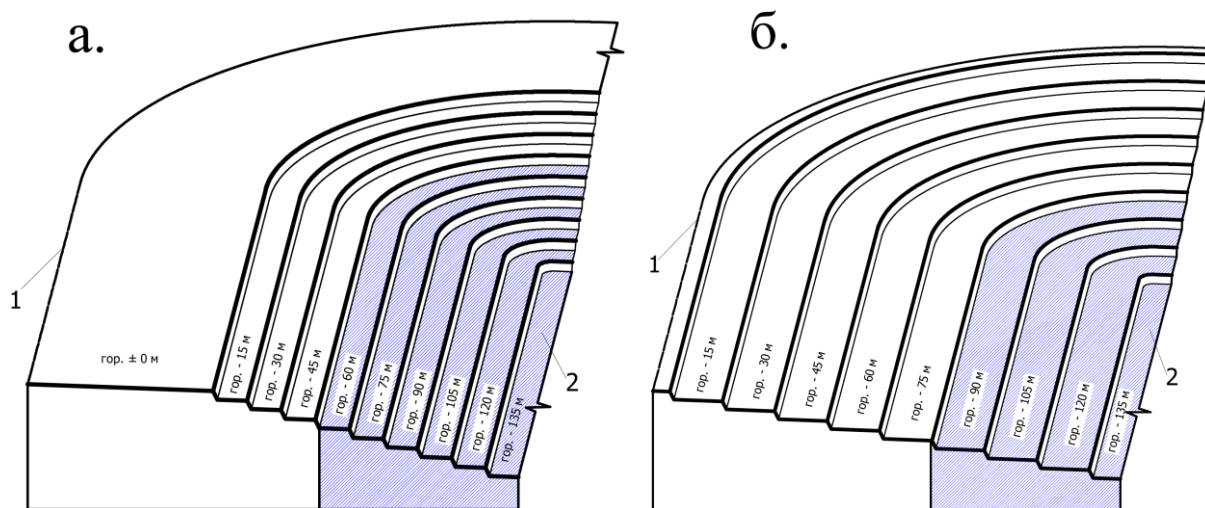
В научной литературе имеется большое количество работ посвященных вопросу определения производственной мощности карьера по горнотехническим факторам [4]. Однако существующие методы определения производительности карьера по горным возможностям учитывают только длину активного фронта горных работ, при этом ширина рабочей площадки, обеспечивающая нормативный запас руды готовый к выемке и ее влияние на длину фронта горных работ и производительность карьера не учитывается. Так при развитии горных работ с минимальной шириной рабочей площадки производительность карьера, по максимальной интенсивности развития горных работ и исходя из количества добычных экскаваторов, будет максимальной [5]. Однако, если исходить из резерва готовых к выемке запасов (горные работы на уступе с минимальной рабочей площадкой должны быть приостановлены до создания необходимого резерва готовых к выемке запасов горной массы, что достигается определенным подвиганием верхнего уступа [6]), то производительность карьера должна быть равна нулю.

**Постановка задач.** Цель настоящей работы – исследовать степень влияния ширины рабочей площадки, на длину активного фронта горных работ и производительность карьера по руде, и на основе полученных результатов разработать метод определения производительности карьера, который учитывает взаимосвязь параметров системы разработки (ширины рабочей площадки и

длины фронта горных работ), обеспечивающих в карьере нормативный запас руды, готовый к выемке.

**Методы исследований.** Исследование изменения максимально возможной производительности и длины активного фронта горных работ при увеличении ширины рабочей площадки, с помощью графических методов горно-геометрического анализа карьерного поля, позволяет определить максимально возможную производительность карьера по руде и соответствующую ей ширину рабочей площадки, которая обеспечивает в карьере нормативный запас руды готовый к выемке.

**Теоретическая и экспериментальная часть.** Для выявления степени влияния ширины рабочей площадки, обеспечивающей нормативный запас руды готовый к выемке, на уровень возможной производительности карьера по руде и длину активного фронта горных работ (рисунок 1), был рассмотрен пример условного карьера разрабатывающего месторождение, которое подобно, по условиям залегания и технологии открытой разработки, мощным месторождениям бедных железистых кварцитов, обрабатываемым карьерами Кривбасса. Угол падения залежи -  $70^{\circ}$ , горизонтальная мощность – 500 м; протяженность – 600 м. Параметры карьера составляют: угол откоса проектного борта –  $42^{\circ}$ ; конечная глубина карьера – 500 м. Для данного месторождения был выполнен горно-геометрический анализ карьерного поля при работе с различной шириной рабочей площадки. Ширина рабочей площадки изменяется от минимальной до максимальной (от 35 до 145 м). Углубку карьера осуществляли по краю рудной залежи со стороны висячего бока.



1- конечные контуры карьера; 2 – рудное тело

Рисунок 1 – Рабочая зона карьера при ширине рабочей площадки 45м (а) и 75м (б)

Для заданных условий была определена возможная производительность карьера по руде исходя из максимальной интенсивности развития горных работ ( $A_p^{инт}$ ) и резерва готовых к выемке запасов ( $A_p^3$ ) для различных значений ширины рабочей площадки.

Ширина рабочей площадки, обеспечивающая нормативный запас руды готовый к выемке определялась по формуле

$$B_H = B_{\min} + \frac{A_p \cdot \psi}{L_p \cdot h_y}, \text{ м}, \quad (1)$$

где  $B_{\min}$  – минимальная ширина рабочей площадки в карьере, м;  $A_p$  – производительность карьера по руде, м<sup>3</sup>/год;  $\psi$  – нормативный коэффициент готовых к выемке запасов руды (при полуторамесячном запасе руды этот коэффициент равен 0,125);  $L_p$  – длина активного рудного фронта в карьере, м;  $h_y$  – высота рудного уступа, м.

Отсюда возможная производительность карьера по руде, исходя из обеспечения резерва готовых к выемке запасов определяется по формуле

$$A_p^3 = \frac{(B_H - B_{\min})L_p \cdot h_y}{\psi}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (2)$$

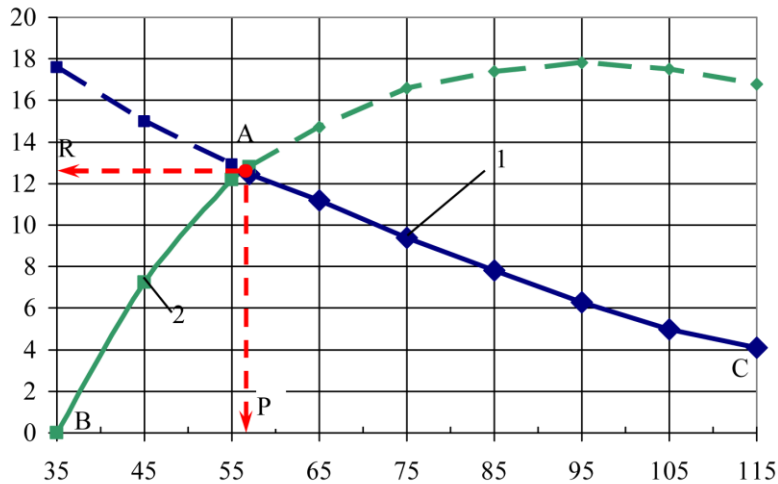
Все результаты расчетов по определению производительности карьера, а также длины фронта горных работ при изменении ширины рабочей площадки представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов по определению производительности карьера при работе с различной шириной рабочей площадки

Ширина рабочей площадки, м	Длина активного рудного фронта горных работ, м	Объем готовых к выемке запасов руды	Возможная производительность по максимальной интенсивности развития горных работ, млн. м <sup>3</sup> /год	Возможная производительность по обеспеченности запасами, млн. м <sup>3</sup> /год
35	7300	0,0	17,6	0
45	6050	0,91	14,4	7,26
55	5200	1,55	12,8	12,36
65	4090	1,84	11,2	14,72
75	3450	2,07	9,4	16,56
85	2900	2,18	7,8	17,4
95	2475	2,23	6,3	17,82
105	2050	2,15	5	17,5
115	1700	2,04	4,2	16,8
125	1445	1,95	3,8	15,9

**Результаты исследования.** Выполнив горно-геометрический анализ карьерного поля и проанализировав полученные результаты изменения длины фронта горных работ и готовых к выемке запасов руды при различной ширине

рабочей площадки, установили зависимость возможной производительности карьера по руде от ширины рабочей площадки для различных методов определения производительности (рис. 2).



1 – по максимальной интенсивности развития горных работ; 2 – по обеспеченности нормативов готовых к выемке запасов руды

Рисунок 2 - Изменение возможной производительности карьера по руде (млн. м<sup>3</sup>/год) при различной ширине рабочей площадки (м) для различных методов определения производительности

Анализ полученных результатов показал, что уровень максимально возможной производительности карьера по руде определяется точкой пересечения (т.А) кривых 1 и 2 на рис. 2. Опустив перпендикуляр из т.А на ось абсцисс определим оптимальное значение ширины рабочей площадки, при которой обеспечивается максимально возможная производительность карьера по руде, а также норматив готовых к выемке запасов руды. Из рис. 2 видно, что уровень максимально возможной производительности по руде для условного карьера

составляет 12,5 млн. м<sup>3</sup>/год (линия AR), при этом ширина рабочей площадки должна составлять 57 м (линия AP).

При увеличении или уменьшении ширины рабочей площадки от оптимального значения, производительность карьера по руде будет только уменьшаться. Так, при увеличении ширины рабочей площадки, от оптимального до максимального значения, производительность карьера будет определяться из условия расстановки максимального количества добычных экскаваторов (линия AC на рис. 2). А в случае уменьшения ширины рабочей площадки до минимального значения производительность будет определяться из условия обеспечения нормативного запаса руды готового к выемке (линия BA на рис. 2). Пунктирная часть линий показывает варианты производительности карьера по руде, которые невозможно достичь.

При проектировании разработки месторождений сравнительно постоянной мощности или тех, для которых можно установить среднюю мощность и средние условия залегания, производительность карьера можно определять из условия расстановки максимального количества добычных экскаваторов ( $A_p^{экс}$ ).

Возможная производительность карьера по руде исходя из максимального количества добычных экскаваторов определяется по формуле

$$A_p^{экс} = \frac{L_p}{L_{бл}^{min}} Q_{экс}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (3)$$

где  $L_{бл}^{min}$  - минимальная длина экскаваторного блока, м;  $Q_{экс}$  - годовая производительность экскаватора, м<sup>3</sup>/год.

Тогда исходя из формулы (2) и (3) ширина рабочей площадки ( $B_n^{max}$ ), обеспечивающая достижение максимально возможной производительности карьера по руде составит

$$B_n^{max} = \frac{\psi \cdot Q_{экс}}{L_{бл}^{min} \cdot h_y} + B_{min}, \text{ м}, \quad (4)$$

**Выводы.** В результате исследований было установлено, что производительность карьера должна определяться не только исходя из максимальной интенсивности развития горных работ (максимальной расстановки добычных экскаваторов), но и с учетом взаимосвязи ширины рабочей площадки и длины активного фронта горных работ, которые обеспечивают в карьере необходимый объем готовых к выемке запасов. Поэтому был разработан метод определения максимально возможной производительности карьера по руде по горнотехническим условиям, который учитывает взаимосвязь параметров системы разработки (ширины рабочей площадки и длины фронта горных работ), обеспечивающих в карьере нормативный запас руды готовый к выемке.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проектирование карьеров / К.Н.Трубецкой, Г.Л.Краснянский, В.В.Хронин [и др.] - М.:Высшая школа, 2009. - 694с.
2. Фомин, С.И. Нормирование готовых к выемке запасов при формировании рабочей зоны карьера / С.И.Фомин, А.И.Пономарев, В.А.Шевелев // Известия ТулГУ. Науки о земле. – 2012. – вып. 2. – С.176–183.
3. Шпанский, О.В. Проектирование производственной мощности карьеров: Учеб. пособие / О.В.Шпанский, Д.Н.Лиготский, Д.В.Борисов. – Санкт–Петербургский государственный горный институт. СПб, 2004. – 96 с.
4. Арсентьев, А.И. Производительность карьеров / А.И.Арсентьев. – Санкт-Петербургский горный институт. СПб, 2002.– 85 с.
5. Близнюков, В.Г. Область возможного регулирования режима горных работ при геометрическом анализе карьерного поля / В.Г.Близнюков, Ю.М.Навитный, О.Ю.Близнюкова // Горный журнал. – 2015. – №5. – С.50–51.
6. Кумачев, К.А. Проектирование железорудных карьеров / К.А.Кумачев, В.Я.Майминд. – М.: Недра, 1981. – 464 с.

#### REFERENCES

1. Trubetskoy, K.N., Krasnyanskiy, G.L., Hronin V.V. et al. (2009), *Proektirovanie karerov* [Designing quarries], Vysshaya shkola, Moscow, Russia.
2. Fomin, S.I., Ponomarev, A.I. and Shevelev, V.A. (2012), “Normalization of reserves available for extraction when generating mine operational zone”, *Journal of Tula State University: Soil Sciences*, vol. 2, pp.176–183.
3. Shpanskiy, O.V., Ligotskiy, D.N. and Borisov, D.V. (2004), *Proektirovanie proizvodstvennoy moshchnosti karerov* [Designing of productive capacity of mine], Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia.

4. Arsentiev, A.I. (2002), *Proizvoditelnost karerov* [Mine productivity], Publishing House of Saint Petersburg Mining Institute, Saint-Petersburg, Russia.
5. Bliznyukov, V.G., Navitskiy, Yu. M. and Bliznyukova, O.Yu. (2015), “ Possible adjustment of mining operations along with geometric analysis of mine field”, *Mining Journal*, no.5, pp.50–51.
6. Kumachev, K.A. and Maymind, V.Ya. (1981), *Proektirovanie zhelezorudnykh karerov* [Designing of iron ore mines], Nedra, Moscow, USSR.

---

### Об авторе

**Луценко Сергей Александрович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Открытых горных работ, Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет» (ГБУЗ «КНУ»), Кривой Рог, Украина, [lutsenko.sergey3909@yandex.ua](mailto:lutsenko.sergey3909@yandex.ua).

### About the author

**Lutsenko Sergei Aleksandrovich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Associate Professor of Open-Cast Mining Department, State Higher Educational Institution “Kryvoy Rog National University” (SHEI “KNU”), Kryvoy Rog, Ukraine, [lutsenko.sergey3909@yandex.ua](mailto:lutsenko.sergey3909@yandex.ua).

---

**Анотація.** Продуктивність за рудою один з основних параметрів кар'єру, що визначають економічні показники відкритої розробки будь-якого родовища корисних копалин. Метою досліджень є вдосконалення методів визначення продуктивності кар'єру за рудою з урахуванням умов наявності в кар'єрі необхідного обсягу готових до виймання запасів.

В основу методу визначення продуктивності кар'єру за рудою покладено ідею: продуктивність кар'єру повинна визначатися не тільки виходячи з максимальної інтенсивності розвитку гірничих робіт (максимального розміщення видобувних екскаваторів), але й з урахуванням взаємозв'язку ширини робочого майданчика й довжини активного фронту гірничих робіт, які забезпечують у кар'єрі необхідний обсяг готових до виймання запасів. Реалізація цієї ідеї здійснювалася за рахунок встановлення ступеню впливу ширини робочого майданчика на довжину фронту гірничих робіт і обсяг готових до виймання запасів.

Результати виконаних досліджень можуть бути використані проектними організаціями й гірничодобувними підприємствами при визначенні продуктивності кар'єрів.

**Ключові слова:** ширина робочого майданчика, довжина фронту гірничих робіт, продуктивність кар'єрів, готові до виймання запаси.

**Abstract.** Ore output is one of the main parameters of the open pit, which defines economic figures of any mineral opencast mining. The objective of the study is to improve methods for determining open-pit productivity with taking into account the required reserve volume available for extraction.

The method for determining open-pit productivity has the following idea in its basis: mine productivity is to be determined basing not only on maximum intensity of mining operations (maximally possible arrangement of mining excavators), but also with taking into account interaction of width of operational area and length of active stripping front, which ensure a required volume of reserves available for the extraction. This idea was accomplished by determining rate of operational area width impacting on stripping zone length and volumes available for extraction.

The results of completed studies may be used by design organizations and mining enterprises for evaluating any mine productivity.

**Keywords:** width of operational area, length of active stripping front, open-pit productivity, reserves available for extraction.

*Статья поступила в редакцию 22.11.2016*

*Рекомендовано к публикации д-ром технических наук Четвериком М.С.*