

УДК 622.2:622.271.32-027.235

DOI 10.20535/2079-5688.2017.34.104496

**С.А. Луценко**, к.т.н., доц. (Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет»)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА ГОРНЫХ РАБОТ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО ДОСТИЖЕНИЕ МАКСИМАЛЬНО ВОЗМОЖНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КАРЬЕРА ПО РУДЕ**

**S.A. Lutsenko** (State Higher Education Establishment «Krivoy Rog National University»)

## **STUDIES OF THE MINING REGIME ENSURING ACHIEVEMENT OF THE MAXIMUM POSSIBLE PRODUCTIVITY OF AN ORE OPEN-PIT**

*Исследованы варианты режима горных работ, обеспечивающие достижение максимально возможной и плановой производительности карьера по руде и их влияние на область возможных решений по определению и усреднению коэффициентов вскрыши. Установлено, что при определении области регулирования режима горных работ необходимо исходить не только из углов откоса рабочих бортов карьера, обеспечивающих нормальные условия производства горных работ, но и учитывать возможность достижения заданной производительности карьера по руде. Доказано, что при развитии горных работ с минимальной шириной рабочей площадки производительность карьера, исходя из резерва готовых к выемке запасов, будет значительно ниже максимально возможного ее значения.*

**Ключевые слова:** ширина рабочей площадки; режим горных работ; производительность карьеров; готовые к выемке запасы.

*Продуктивність за рудою один з основних параметрів кар'єру, що визначають економічні показники відкритої розробки будь-якого родовища корисних копалин.*

*У статті розглядається питання встановлення взаємозв'язку між шириною робочого майданчика і довжиною активного фронту гірничих робіт в кар'єрі, що забезпечують нормативний запас руди та його вплив на продуктивність по руді. Виконано аналіз досліджень в області визначення виробничої потужності кар'єру і запасів руди готових до виймання. Показано, що існуючі методи визначення продуктивності кар'єру за гірничими можливостями враховують тільки довжину активного фронту гірничих робіт, при цьому ширина робочого майданчика та її вплив на довжину фронту гірничих робіт не враховується. Наведено результати досліджень зміни довжини активного фронту гірничих робіт залежно від збільшення ширини робочої площадки при різних значеннях продуктивності кар'єру за рудою.*

*Досліджено варіанти режиму гірничих робіт, що забезпечують досягнення максимально можливої й планової продуктивності кар'єру за рудою та їх вплив на область можливих рішень з визначення й усереднення коефіцієнтів розкриття. Встановлено, що при визначенні області регулювання режиму гірничих робіт необхідно виходити не тільки з кутів укосу робочих бортів кар'єру, що забезпечують нормальні умови виробництва гірничих робіт, але й враховувати можливість досягнення заданої продуктивності кар'єру*

за рудою. Доведено, що при розвитку гірничих робіт з мінімальною шириною робочої площадки продуктивність кар'єру, виходячи з резерву готових до виймки запасів, буде значно нижче її максимально можливого значення. Обґрунтовано, що при визначенні продуктивності кар'єру за рудою довжина активного фронту гірничих робіт і ширина робочого майданчика повинні враховуватися не відокремлено, а з урахуванням їх взаємозв'язку.

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

**Ключові слова:** ширина робочого майданчика; режим гірничих робіт; продуктивність кар'єрів; готові до виймання запаси.

*Ore extraction productivity is one of the main parameters of open pit which defines economic figures of any open-cast mining deposit.*

*The article includes study of the following issue: determination of interrelation between operation area width and active mining operation line length in open pit, which ensures normal ore reserve and its impact on ore extraction productivity. The analysis of studies in terms of mine operational capacity and ore reserves ready to be extracted was done. It was shown that the current methods of open pit productivity based on its mining resources determination includes only length of active mining operation line but width of operation area and its impact on length of mining operation line isn't included.*

*The options of the mining regime ensuring the achievement of the maximum possible and planned productivity of an ore open-pit and its influence on possible solutions for determining and averaging the overburden ratio have been investigated. The fact has been established that when determining the field of mining regime regulation, it is necessary to proceed not only from the angles of highwall slope of the open-pit providing normal mining conditions, but also to take into account the possibility of achieving a given open-pit productivity of ore. It has been proved that in the development of mining operations with a minimum width of the working platform, the open-pit's productivity, based on the supply of reserves ready for excavation, will be significantly lower than the maximum possible value. It was proved that when defining the open pit productivity the length of active mining operation line and width of operation area are to be considered not separately but considering their interrelation.*

*The results of completed studies may be used by design organizations and mining enterprises when defining mine productivity.*

**Keywords:** working site width; mining regime; open-pit output; ready to excavation reserves.

**Введение.** Производительность по руде один из основных параметров карьера, определяющих экономические показатели открытой разработки любого месторождения полезных ископаемых. Какова бы не была потребность в полезном ископаемом, ее стремятся удовлетворить с минимальными затратами на вскрышные работы. Поэтому в практике проектирования чаще всего выбирают направление развития горных работ, обеспечивающее работу карьера с минимальными текущими коэффициентами вскрыши.

Снижение текущих коэффициентов вскрыши можно достичь за счет уменьшения ширины рабочей площадки до минимальной ее величины. При этом достигается максимальное значение производительности карьера по руде. Известно, что увеличение ширины рабочей площадки приводит к снижению количества рабочих уступов [1], т.е. к снижению производительности. Вместе с тем при работе с минимальной шириной рабочей площадки практически

исчезает резерв запасов полезных ископаемых и пород, готовых к выемке. А учитывая то, что режим горных работ должен обеспечить достижение заданной производительности карьера по руде, возникает сомнение в возможности работы карьера с заданной производительностью при минимальной ширине рабочей площадки.

**Анализ исследований и публикаций.** Проектной практикой и многими исследованиями [2], [3] доказано, что экономически целесообразно поддерживать производительность по полезному ископаемому и горной массе выдерживать постоянной в течение длительных периодов работы карьера. Поэтому возникает необходимость в усреднении объемов вскрышных работ по периодам разработки. Для этого в процессе работы карьера необходимо регулировать угол откоса рабочего борта. Большое внимание многими учеными уделяется влиянию угла откоса рабочего борта карьера на объемы вскрышных работ. При этом не учитывается влияние угла откоса рабочего борта карьера на производительность по руде.

**Постановка задач.** Цель настоящей работы – исследовать варианты режима горных работ, обеспечивающие достижение максимально возможной и плановой производительности карьера по руде и их влияние на область возможных решений по определению и усреднению коэффициентов вскрыши.

**Изложение материалов и результаты.** Исследование взаимосвязи ширины рабочей площадки и длины фронта горных работ показали [4], что при минимальном значении ширины рабочей площадки длина фронта горных работ имеет максимальное значение, а объем готовых к выемке запасов – минимальное. При увеличении ширины рабочей площадки длина активного фронта горных работ уменьшается, а запас руды готовый к выемке увеличивается. Это говорит о том, 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 [5] определения максимально возможной производительности карьера 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.

Согласно разработанного метода уровень максимально возможной производительности карьера по руде определяется точкой пересечения (т. А) кривых 1 и 2 (рис. 1), отражающих изменение производительности карьера при увеличении ширины рабочей площадки, исходя из максимальной интенсивности развития горных работ, а также из обеспеченности нормативов готовых к выемке запасов руды. При этом значение ширины рабочей площадки, обеспечивающей максимально возможную производительность карьера по руде, значительно больше минимальной ( $B_{\min}=35\text{м}$ ) и составляет 57 м (линия АР на рис. 1). При увеличении или уменьшении ширины рабочей площадки от

данного значения, производительность карьера по руде будет только уменьшаться. Так, при увеличении ширины рабочей площадки до максимального значения, производительность карьера определяется из условия расстановки максимального количества добычных экскаваторов (линия AC на рис. 1). А в случае уменьшения ширины рабочей площадки до минимального значения - из условия обеспечения нормативного запаса руды готового к выемке (линия BA на рис. 1). При этом для каждого варианта производительности карьера по руде, значение которой меньше максимально возможной, существует два крайних возможных случая отработки карьера с различной шириной рабочей площадки.

Например, плановая производительность карьера составляет 10 млн. м<sup>3</sup>/год. Для данного уровня производительности возможны два крайних варианта отработки карьера в один этап:

I вариант – работы в карьере производятся с шириной рабочей площадки ( $B_{2,3}^{nl}$ ) обеспечивающей плановую производительность карьера по руде исходя из обеспеченности готовых к выемке запасов. Для данного примера  $B_{2,3}^{nl} = 50$  м (линия KLM на рис. 1);

II вариант - работы в карьере производятся с шириной рабочей площадки ( $B_{инт}^{nl}$ ) обеспечивающей плановую производительность карьера по руде исходя из максимальной интенсивности развития горных работ. Для данного примера  $B_{инт}^{nl} = 70$  м (линия KND на рис. 1).

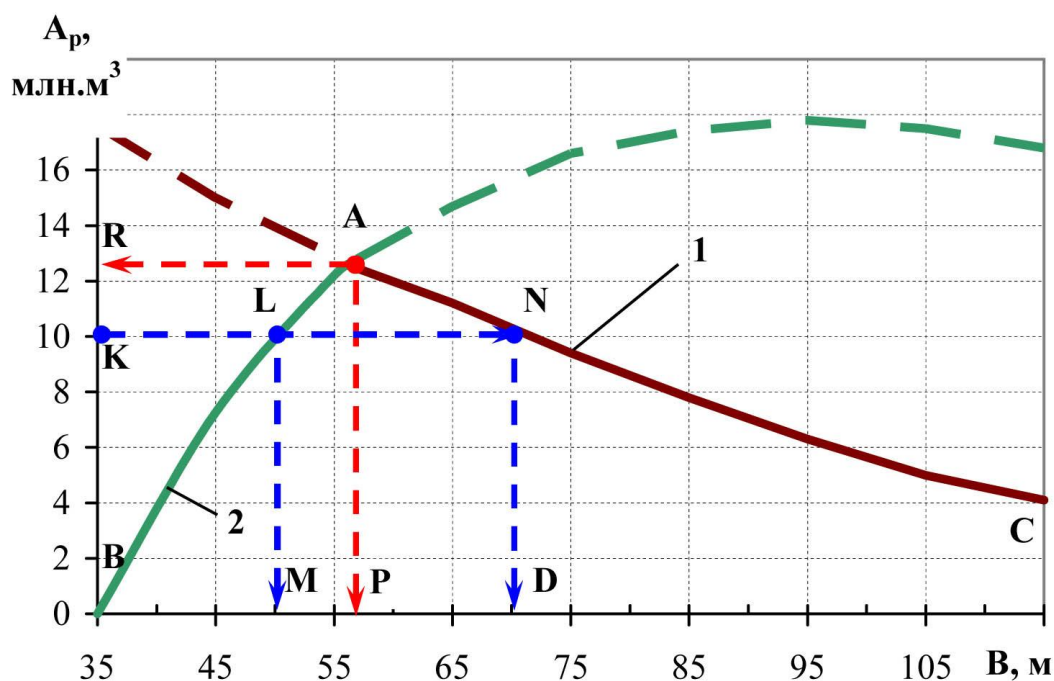


Рис. 1. Изменение возможной производительности карьера по руде (млн. м<sup>3</sup>/год) при различной ширине рабочей площадки (м) для различных методов определения производительности:

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

Из рис. 1 видно, что максимальный угол откоса рабочего борта карьера ( $\varphi_{max}^{nl}$ ), при котором возможно обеспечение плановой производительности по руде достигается при ширине рабочей площадки  $B_{2,3}^{nl}=50\text{м}$  (линия 2 на рис. 2), а минимальный угол ( $\varphi_{min}^{nl}$ ) - при ширине рабочей площадки  $B_{инт}^{nl}=70\text{м}$  (линия 4 на рис. 2). Следовательно, I вариант работы карьера (линия 2) обеспечивает лучший режим горных работ за счет меньших эксплуатационных коэффициентов вскрыши: кривая отражающая режим горных работ по I варианту располагается ниже кривой отражающей работу карьера по II варианту (линия 4). Поэтому для обеспечения заданной производительности карьера по руде в 10 млн. м<sup>3</sup>/год горные работы следует вести с шириной рабочей площадки 50м (I вариант).

Однако при работе с постоянным углом откоса рабочего борта эксплуатационный коэффициент вскрыши является величиной переменной, что ведет к снижению эффективности и усложняет организацию работы карьера [6]. Поэтому в проекте необходимо усреднять эксплуатационный коэффициент вскрыши и проектировать работу с постоянным коэффициентом вскрыши. Кумулятивный график  $V = f(P)$  позволяет выявить возможную область изменения объемов руды и вскрышных пород, а также правильно принять решение проектировщику по установлению величины усредненных коэффициентов вскрыши и разбивке работы карьера на отдельные периоды.

Очевидно, что возможные случаи работы карьера с постоянным коэффициентом вскрыши и плановой производительностью по руде могут быть выражены прямыми лежащими в области между кривыми  $V=f(P)$  при  $\varphi_{min}^{nl}$  и  $\varphi_{max}^{nl}$ . Работа с постоянным эксплуатационным коэффициентом вскрыши может быть выражена прямой  $LS$  – касательной к кривой для  $\varphi_{max}^{nl}$ .

При работе с постоянным коэффициентом вскрыши угол откоса рабочего борта в течение периода эксплуатации будет переменным и не должен превышать  $\varphi_{max}^{nl}$ , а ширина рабочих площадок не должна быть меньше минимально допустимой  $B_{2,3}^{nl}$ , т.е. будут соблюдаться нормальные условия производства горных работ в карьере, обеспечивающие достижение плановой производительности по руде.

Из графика на рис. 2 видно, что когда горные работы (линия  $LS$ ) достигнут уступа 14 угол откоса рабочего борта станет равен  $\varphi_{min}^{nl}$ , так как прямая  $LS$  пересекает в этой точке кривую для  $\varphi = \varphi_{min}^{nl}$ . Если дальше работать с таким соотношением вскрышных и добычных работ, то угол откоса рабочего борта будет увеличиваться за счет увеличения ширины рабочей площадки. При этом уровень производительности карьера будет ниже планового.

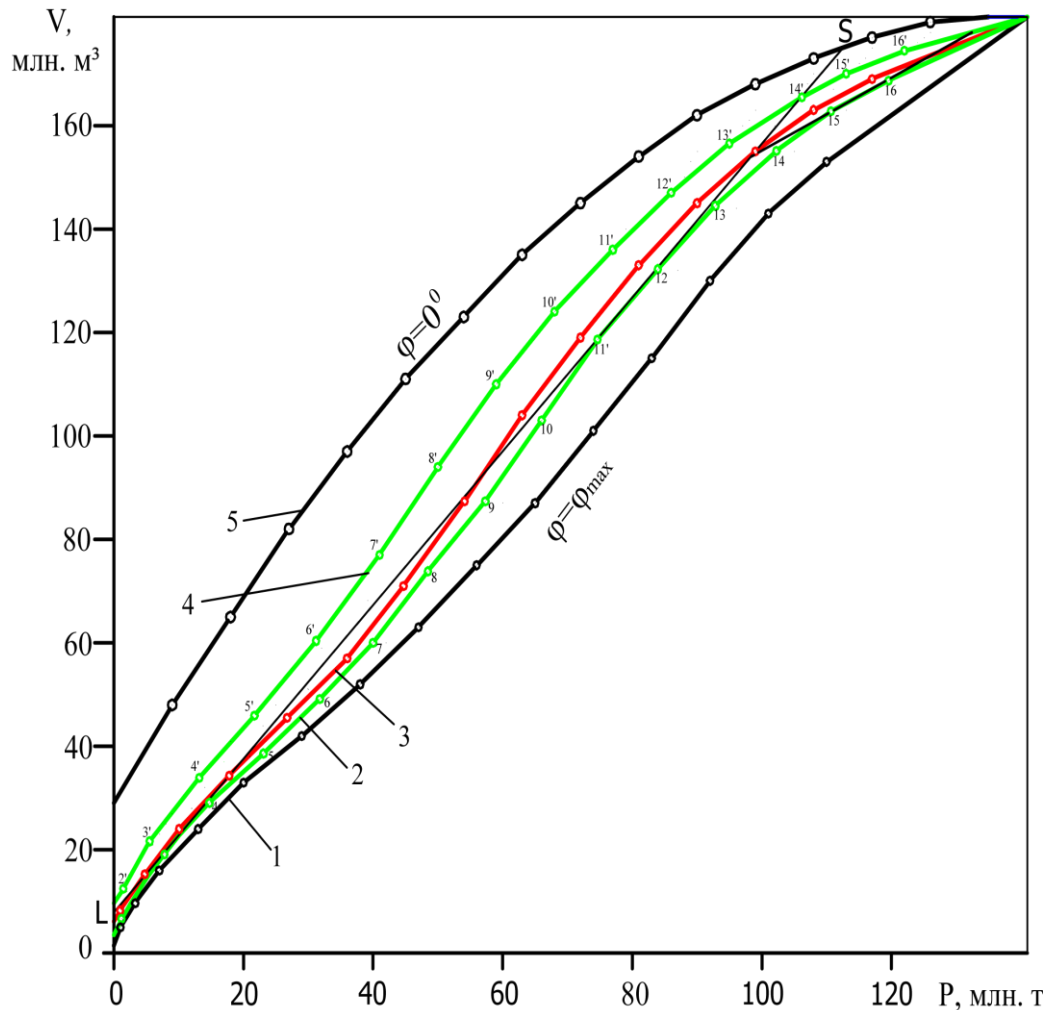


Рис. 2. Изменение нарастающих объемов пустых пород ( $V$ ) в зависимости от добываемого объема руды ( $P$ ) при различной ширине рабочей площадки ( $B$ , м):  
1 – 35; 2 – 50; 3 – 57; 4 – 70; 5 –  $B_{\max}$ .

Поэтому нежелательно, чтобы прямые характеризующие работу с усредненным коэффициентом вскрыши располагались выше кривой  $\varphi_{\min}^{nl}$  и ниже кривой  $\varphi_{\max}^{nl}$ .

Исходя из этого, можно утверждать, что область возможных решений по определению и усреднению эксплуатационных коэффициентов вскрыши должна определяться исходя из тех углов наклона рабочего борта карьера, которые обеспечивают заданную (плановую) производительность по руде. Поэтому в представленном примере при заданной производительности карьера по руде 10 млн. м<sup>3</sup>/год область регулирования режима горных работ на графике  $V = f(P)$  уточнена и ограничивается кривыми 2 и 4 (рис. 2). Отсюда следует, что чем больше производительность по руде, тем меньше область регулирования режима горных работ.

В случае, когда плановая производительность карьера по руде равна максимально возможной (линия 3 на рис. 2) регулировать режим горных работ изменением ширины рабочей площадки весьма затруднительно ( $\varphi_{min}^{nl} = \varphi_{max}^{nl}$ ). Поэтому нужно иметь в виду, что по мере удаления рекомендуемой линии  $V = f(P)$  от линии  $\varphi_{max}^{nl}$  и приближении к линии  $\varphi_{max}$  производительность карьера будет снижаться. Поэтому после усреднения и определения коэффициентов вскрыши нужно корректировать производительность карьера.

### Выводы

Исследования показали, что при определении области возможных решений по определению и усреднению эксплуатационных коэффициентов вскрыши необходимо исходить не только из углов откоса рабочих бортов карьера, обеспечивающих нормальные условия производства горных работ, но и учитывать возможность достижения заданной производительности карьера по руде. В общем случае область возможного регулирования режима горных работ ограничивается на графике  $V = f(P)$  кривыми, построенными для случаев работы карьера с шириной рабочей площадки, обеспечивающей заданную производительность по руде, исходя из максимальной интенсивности развития горных работ и из обеспеченности нормативов готовых к выемке запасов.

Доказано, что при развитии горных работ с минимальной шириной рабочей площадки производительность карьера, исходя из резерва готовых к выемке запасов, будет значительно ниже максимально возможного ее значения.

### Ссылки

- [1] А. И. Арсентьев, *Производительность карьеров*. Санкт-Петербург, Россия, 2002.
- [2] А. И. Арсентьев, и Г. А. Холодняков, *Проектирование горных работ при открытой разработке месторождений*. Москва, Россия: Недра, 1994.
- [3] В. В. Ржевский, М. Г. Новожилов, и Б. П. Юматов, *Научные основы проектирования карьеров*. Москва, СССР: Недра, 1971.
- [4] С. А. Луценко, «Исследование взаимосвязи ширины рабочей площадки и длины фронта горных работ», *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія «Технічні науки»*, Вып. 2(74), с. 140-147, 2016.
- [5] С. А. Луценко, «Разработка метода определения максимальной, по горным возможностям, производительности карьера по руде», *Геотехнічна механіка*. Днепро, № 130, с. 168-174, 2016.
- [6] Б. Р. Ракишев, *Проектирование карьеров*. Алматы, Казахстан: КазНТУ, 2013.

*Стаття надійшла до редакції 16.06.2017р.*