

## ПАРАМЕТРЫ РАБОЧИХ БОРТОВ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ КРУТОНАКЛОННЫМИ СЛОЯМИ

© O. Anisimov

### PARAMETERS OF WORKING EDGES OF DEEP OPEN PITS IN FORMATION OF THE WORKING ZONE BY STEEP DIPPING LAYERS

Определены основные параметры рабочих бортов при отработке глубоких карьеров крутонаклонными слоями. Получены аналитические зависимости количества слоев по висячему и лежащему боку, а также определения площади рабочей зоны при формировании глубоких карьеров.

Визначені основні параметри робочих бортів при відпрацюванні глибоких кар'єрів крутонахиленими шарами. Отримані аналітичні залежності кількості шарів по висячому та лежачому боках, а також визначення площі робочої зоні при формуванні глибоких кар'єрів.

**Введение.** Существующие рабочие проекты разработки глубоких карьеров предусматривают формирование выработок глубиной 400-700м. При эксплуатации таких карьеров основной объем выемки приходится на породы вскрыши, которые извлекаются в рабочей зоне бортов карьеров. Основными глубокими карьерами на территории Украины являются железорудные. Формирование рабочей зоны происходит с выделением этапов, которые учитывают пространственное положение горных выработок на определенный период времени и при этом, должны поддерживаться принципы эколого-сберегающих технологий [1].

Согласно определения В.С. Хохрякова «Рабочей зоной является та часть карьерного поля, в которой в данный период эксплуатации находятся рабочие площадки, размещено основное горнотранспортное оборудование, большая часть внутрикарьерных транспортных и энергетических коммуникаций и ведутся горные работы по выемке вскрыши и добыче полезного ископаемого [2]. В рабочей зоне карьера поддерживаются нормативные величины готовых к выемке запасов полезного ископаемого и суммарная длина фронта работ, необходимая для устойчивой и безопасной работы.

При разработке наклонных и крутых месторождений рабочая зона в первый период расширяется, а затем, достигнув границ карьера, уменьшается пропорционально углам погашения бортов карьера.

Формирование рабочей зоны в карьере в процессе его эксплуатации происходит не случайным образом, а в соответствии с принятыми критериями, подчиняется определенным закономерностям и может быть измерено системой таких показателей, как скорость и направление углубки и подвигания фронта работ, темп изменения площади рабочей зоны, и др. [3].

**Постановка проблемы.** Определение параметров рабочих бортов при формировании глубоких карьеров и развития рабочей зоны крутонаклонными

слоями в настоящее время являются актуальными. Развитие горных работ крутонаклонными слоями позволяет значительно снизить объемы выемки вскрышных работ на начальном этапе развития глубокого карьера. Рабочие борта формируют с учетом ширины рабочих площадок и их количества в пределах этапа, а также параметров временно нерабочих участков. Определение их количества в пределах этапа с учетом формирования крутонаклонных слоев в последующем дает возможность определить объемы выемки вскрышных пород.

**Цель работы** определить основные параметры рабочих бортов, а также получение аналитических зависимостей и графическое отображение изменения количества одновременно обрабатываемых рабочих площадок с учетом формирования бортов карьера крутонаклонными слоями.

**Изложение основного материала.** Понижение дна карьера глубокого карьера на определенную величину может быть достигнута только в том случае, если вышележащие пласты будут отработаны на пропорциональное расстояние на рабочих бортах карьера. При этом для того, чтобы угол рабочего борта карьера был выдержан, подвигание фронта работ на всех уступах одного борта должно быть одинаково. Однако с целью сокращения рабочей зоны и увеличения результирующего угла рабочего борта его профиль делают ломаным. Формирование рабочего борта участками с углом борта, обеспечивающим нормальную ширину рабочих площадок и участков временно нерабочих, с уменьшенными площадками, позволяет увеличить результирующий угол рабочего борта и тем самым сделать календарный график по вскрыше более экономичным.

В условиях сложноструктурных месторождений не всегда могут быть достаточно четко выделены границы вскрышной и добычной зон. Поэтому в общей изменяющейся площади рабочей зоны выделяют изменяющуюся по месту расположения, но стабильную по суммарной площади добычную зону, длина фронта работ на которой должна обеспечить заданную производительность карьера по добыче с учетом установленного режима выдачи различных сортов руд.

Суммарная площадь, а также площадь вскрышной и добычной зоны может быть определена исходя существующих положений горных выработок. При отработке крутонаклонными слоями рабочей зоной является только площадка, на которой ведутся горные работы рис. 1. С учетом того, что борт содержит как рабочие площадки, так и нерабочие участки, общая площадь вскрышной и добычной зоны может быть определена из нижеприведенных выражений.

При отработке крутонаклонными слоями нет сплошной рабочей зоны по глубине, она определяется совокупностью рабочих уступов (площадок) которые понижают при отработке слоя. Длина рабочей площадки может оцениваться той поверхностью, на которую может въехать и по которой может перемещаться буровой станок (сверху) и экскаватор с транспортом (снизу).

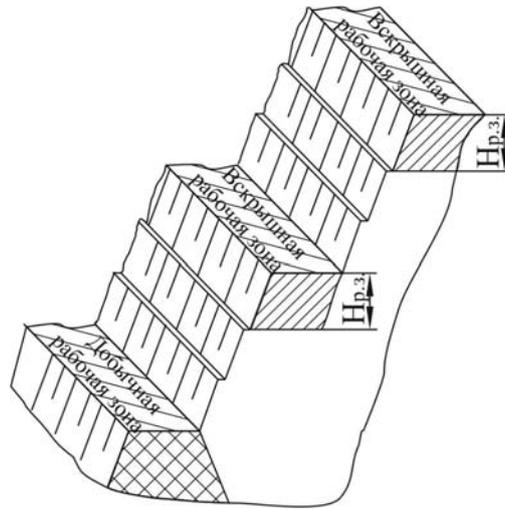


Рис. 1. Схема распределения рабочих зон при обработке крутонаклонными слоями:  $H_{р.з.}$  – высота обрабатываемой рабочей зоны (может соответствовать высоте уступа)

Ограничениями карьера служат его размеры по поверхности и по глубине. При понижении горных работ рабочая зона уменьшается. В связи с тем, что каждый уступ может иметь свои геометрические особенности кривые контуров площади вскрышной зоны на борту карьера будут разные. Для определения площади рабочей зоны на каждом отдельном горизонте при понижении данного горизонта по всему периметру можно воспользоваться формулой двойного интеграла. Разница между площадью внешнего контура  $B$  и внутреннего контура  $K$  даст параметр площади рабочей зоны на данном горизонте рис. 2.

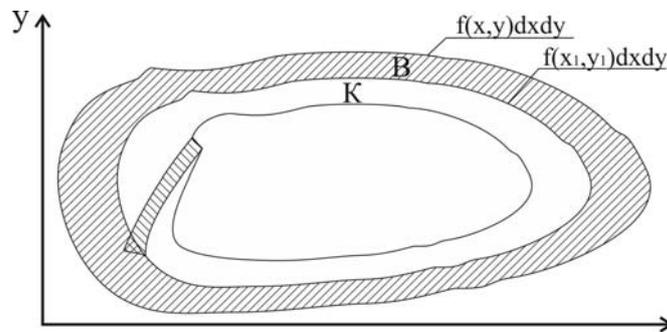


Рис. 2. Схема определения площади рабочей зоны при обработке крутонаклонным слоем

С изменением положения рабочей зоны по глубине площади будут уменьшаться в каждом отдельном крутонаклонном слое. Для определения площади рабочей зоны можно воспользоваться следующей формулой

$$\Delta S_i = S_{B_i} - S_{K_i} = \iint_{B_i} f(x, y) dx dy - \iint_{K_i} f(x_1, y_1) dx dy, \text{ м}^2$$

$x, y$  – координаты кривых при определении площади, м;  $i$  – нумерация крутонаклонных слоев, ед.

Общая площадь вскрышной зоны на рабочем борту карьера при вскрытии крутонаклонными слоями может быть определена как сумма всех рабочих зон (горизонтов) где производятся работы по выемке вскрышных пород.

$$S_B = \sum_1^n \Delta S_i, \text{ м}^2$$

$n$  – количество горизонтов обрабатываемых на определенном этапе, ед.

Площадь полезного ископаемого на дне карьера, которая является рабочей зоной можно определить исходя из выражения

$$S_D = \iint_D f(x, y) dx dy, \text{ м}^2$$

При выходе пластов на бортах карьера расчет площади рабочей зоны по полезному ископаемому на этих участках подобна площади рабочей зоны на вскрышных участках борта.

$$\Delta S_j = S_{Bj} - S_{Kj} = \iint_{Bj} f(x, y) dx dy - \iint_{Kj} f(x_1, y_1) dx dy$$

$j$  – нумерация крутонаклонных слоев с рабочей зоной по полезному ископаемому, ед.

Общая площадь добычной рабочей зоны с учетом выхода полезного ископаемого в бортах и по дну карьера составит

$$S_{ДД} = \sum_1^k \Delta S_j + S_D$$

$k$  – количество добычных горизонтов обрабатываемых на определенном этапе, ед.

При обработке крутонаклонного слоя на отдельном участке определенной длины (рис. 3), т.е. не на всем горизонте площадь рабочей зоны определяется из выражения

$$\Delta S_l = \iint_{Bl} f(x, y) dx dy = \int_a^b dx \int_{\alpha(x)}^{\beta(x)} f(x, y) dy$$

где  $a, b$  – пределы ограничивающие участок по оси  $x$ , м;  $\beta(x), \alpha(x)$  – пределы ограничивающие участок по оси  $y$ , м.

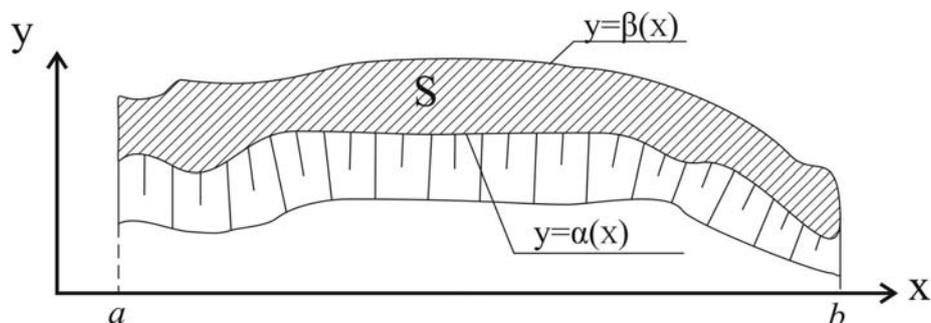


Рис. 3. Схема к определению площади рабочей зоны крутонаклонного слоя при обработке отдельного участка

При необходимости вычисления данных интегралов можно перейти к полярной системе координат функция  $f(x, y)$  меняется при этом на  $f(r \cos \varphi, r \sin \varphi)$  и учитывается коэффициент искажения площади.

Количество добычных уступов определяется исходя из необходимой производительности карьера по полезному ископаемому, соответственно количества экскаваторов и их производительности, высоты отрабатываемого добычного уступа и др.

Число вскрышных уступов в рабочей зоне можно определить аналитически. При отработке карьера крутонаклонными слоями каждый крутонаклонный слой имеет свою рабочую площадку, которая подлежит отработке (рис. 4).

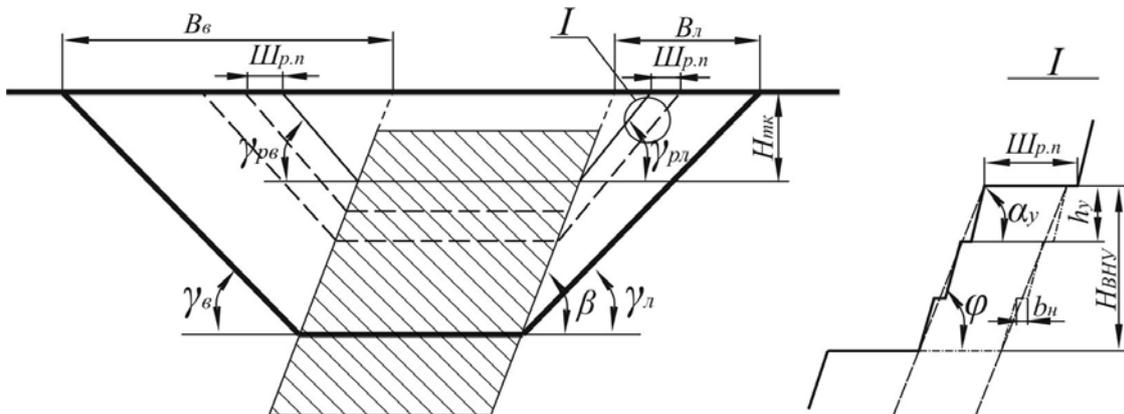


Рис. 4. Формирование крутонаклонных слоев при крутопадающем залегании полезного ископаемого

Система временно нерабочих участков и формируемые рабочие площадки между ними образуют рабочий угол откоса борта карьера  $\gamma_{pv}$ ,  $\gamma_{pl}$  соответственно по висячему и лежащему боку месторождения. Ширина участка вскрыши со стороны висячего бока, подлежащей отработке крутонаклонными слоями, определяется из выражения

$$B_{\text{в}} = H_{\text{к}} (\text{ctg} \gamma_{\text{pv}} + \text{ctg} \beta), \text{ м}$$

Количество слоев по висячему боку месторождения определяется по формуле

$$n_{\text{в}} = \frac{H_{\text{к}} (\text{ctg} \gamma_{\text{pv}} + \text{ctg} \beta)}{\text{Ш}_{\text{р.н}}}, \text{ ед.}$$

Ширина участка вскрыши со стороны лежащего бока подлежащего отработке крутонаклонными слоями определяется из выражения

$$B_{\text{л}} = H_{\text{к}} (\text{ctg} \gamma_{\text{pl}} - \text{ctg} \beta), \text{ м}$$

Количество слоев по лежащему боку месторождения определяется по формуле

$$n_{\text{л}} = \frac{H_{\text{к}} (\text{ctg} \gamma_{\text{pl}} - \text{ctg} \beta)}{\text{Ш}_{\text{р.н}}}, \text{ ед.}$$

Общее максимальное количество слоев подлежащее отработке находится как сумма отрабатываемых слоев по висячему и лежащему боку месторождения

$$\sum n = n_g + n_d.$$

Формирование крутонаклонных слоев происходит с временной консервацией участка по высоте  $H_{BHV}$  (рис. 4). Угол откоса временно нерабочего участка определяется по формуле

$$\varphi = \arctg \frac{h_y \cdot n_{BHV}}{n_{BHV} \cdot h_y \cdot ctg \alpha_y + (n_{BHV} - 1)b_n}, \text{ град}$$

где  $h_y$  – высота уступа, м;  $n_{BHV}$  – количество уступов формируемых на временно нерабочем участке крутонаклонного слоя, ед.;  $\alpha_y$  – угол откоса уступа, град.;  $b_n$  – площадка формируемая между уступами в результате невозможности обуривания площадки вблизи нижней бровки, м.

Количество слоев находящееся в отработке в определенный момент на определенной текущей глубине карьера можно определить исходя из высоты отрабатываемых уступов и количества временно нерабочих участков

$$n_m = \frac{H_{km}}{H_{BHV}}, \text{ ед.}$$

Высота временно нерабочего участка определяется исходя из устойчивости пород, которые составляют уступы, их количества и высоты уступов. Высота временно нерабочего участка определяется по формуле

$$H_{BHV} = n_{BHV} \cdot h_y, \text{ м}$$

Количество временно нерабочих уступов  $n_{BHV}$  формируемых в крутонаклонном слое **зависит** от устойчивости пород (их физико-механических свойств), углов откосов и высоты уступов.

**Число и ширина рабочих площадок на рабочем борту карьера.** Один из параметров ширина рабочих площадок определяется исходя из габаритных размеров применяемого рабочего оборудования и его рабочих характеристик. При отработке глубоких карьеров параметры ширины рабочих площадок стараются уменьшить, чем достигается больший угол откоса борта карьера и соответственно снижение выемки объемов вскрышных пород. Однако данный показатель имеет свои ограничения (минимальные значения). С учетом имеющейся на сегодняшний день технологии и техники для выемки и перемещения скальных вскрышных пород ширина рабочих площадок изменяется от 40 до 60 м.

Основными неизменными составляющими **ширины рабочих площадок** являются параметры: призмы возможного обрушения, вала безопасности (ориентирующий или удерживающий вал из грунта), дренажной канавы (для обводненных горизонтов), транспортной полосы с обочинами, вспомогательной площадки (ЛЭП, кабелей), площадки безопасности от осыпей и обвалов верхних горизонтов, площадки рабочей зоны выемочно-погрузочного оборудования и маневрирования транспорта.

Изменение ширины рабочей площадки ведет к увеличению или уменьшению угла откоса борта карьера. Выполнены исследования изменения угла откоса рабочего борта при ширине рабочих площадок 40 и 60 м (рис. 5) при формировании карьерного поля крутонаклонными слоями. Исходные данные приняты для карьера с проектной глубиной 400 м.

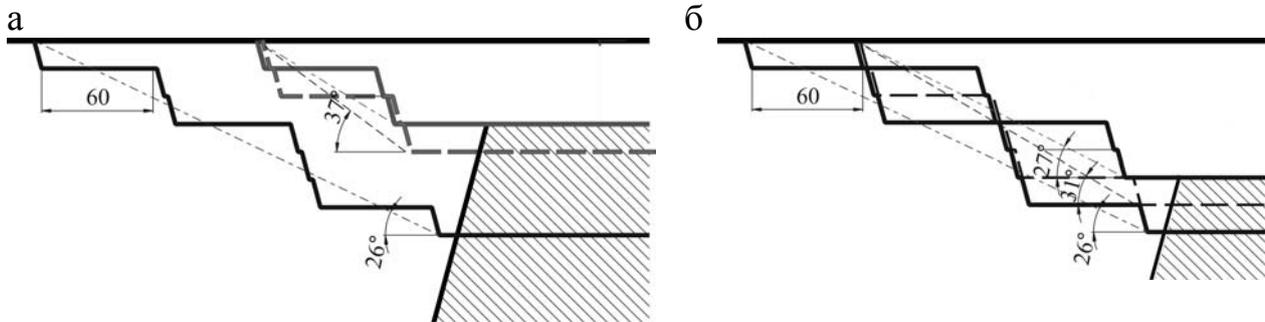


Рис. 5. Схема изменения углов откосов рабочих бортов при отработке крутонаклонными слоями: а – положение борта карьера на начало отработки; б – положение борта карьера при углубке карьера и вертикальном подвигании работ по породам вскрыши

С учетом того, что осуществляется постепенное углубление дна карьера в работу вовлекаются различное количество уступов, соответственно угол может менять свое значение от 55 до 27 градусов – при ширине площадки 60 м. При отработке площадками шириной 40 м с угол откоса бортов карьера по висячему и лежащему боку месторождения в среднем варьируется от 35 до 42 градусов.

Увеличение ширины рабочей площадки ведет к снижению угла откоса борта карьера. На рис. 5 (б) видно, что при формировании бортов карьера с рабочими площадками шириной 60 м углы откосов бортов карьера по висячему и лежащему боку месторождения изменяются от 28 до 36 градусов.

Уменьшение угла откоса при отработке 40 м площадками приходится на глубину 150 м и затем происходит постепенное увеличение данных показателей. При отработке 60 м площадками наименьшие углы возникают на глубине 100-150 м и в дальнейшем эти показатели постепенно увеличиваются до показателей проектного угла откоса.

**Количество рабочих площадок** с учетом отработки крутонаклонными слоями изменяется при углубке дна карьера. На количество рабочих площадок влияет угол падения месторождения, форма и залегание пласта, количество уступов формируемых на временно нерабочем участке, ширина площадки, угол откоса уступов и угол откоса временно нерабочего участка между смежными рабочими площадками в крутонаклонном слое. На рис. 6 условно показан карьер (глубина отработки 400 м) угол падения пласта принимался 90°, 75°, 42°. Из графики видно, что при отработке вертикального месторождения количество рабочих площадок одинаков с левой и правой стороны карьера, а количество их постепенно пропорционально увеличивается. Формирование крутонаклонных

слоев при отработке крутых и крутопадающих месторождений ведет к изменению количества рабочих площадок со стороны висячего и лежащего бока месторождения.

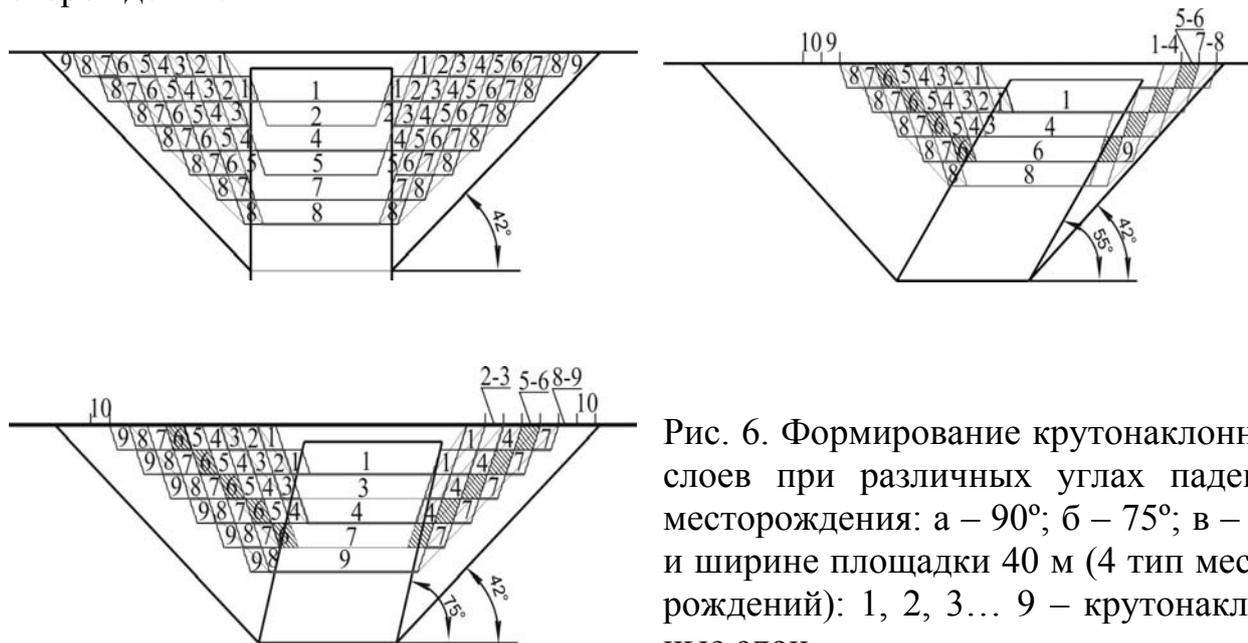


Рис. 6. Формирование крутонаклонных слоев при различных углах падения месторождения: а – 90°; б – 75°; в – 55° и ширине площадки 40 м (4 тип месторождений): 1, 2, 3... 9 – крутонаклонные слои

Висячий борт имеет большее количество обрабатываемых площадок, а отработка лежащего борта карьера по мере углубки может «замораживаться», т.е. работы в определенный период прекращаются, что потребует обеспечения долгосрочной устойчивости данных горных выработок. При дальнейшей углубке дна карьера работы на участках лежащего борта возобновляются. Таким образом, большая часть техники будет сосредоточена на участке висячего борта и значительные объемы выемки вскрышных пород будут приходиться на данные участки. Рабочие площадки висячего борта будут постоянно изменять свое положение по мере углубки карьера.

Ширина рабочей площадки и угол откоса крутонаклонного слоя влияют на количество уступов находящихся в разработке. На рис. 7 показаны графики изменения количества обрабатываемых площадок в зависимости от текущей глубины карьера. Условное месторождение имеет угол падения 75°. Из графика следует, что при проектной глубине карьера 400 м количество уступов в разработке постепенно увеличивается до определенной отметки, после чего их количество снижается при доработке карьера. Пик количества площадок по висячему борту карьера при отработке площадками шириной 60 м приходится на отметку 300 м, а при отработке площадками шириной 40 м – на отметку 275 и 345 м.

Количество площадок по лежащему борту на начальном этапе отработки карьера будет соответствовать количеству по висячему борту карьера, в дальнейшем основная тяжесть работ переносится на висячий борт. На определенной глубине дна карьера работы на лежащем борту могут не вестись или работы выполняются с небольшим подвиганием. По мере необходимости подготовки но-

вых горизонтов по полезному ископаемому работы на лежащем борту карьера интенсифицируются, о чем свидетельствуют изменения на графике количества обрабатываемых уступов со стороны лежачего бока с показателями от 0 до 4-6 рабочих площадок (рис. 7).

а



б



Рис. 7. Графики зависимости количества уступов в разработке при изменении глубины дна карьера: а – при отработке площадок шириной 60 м; б – при отработке площадок шириной 40 м

**Выводы.** Рабочая зона при отработке крутонаклонными слоями формируется за счет рабочих площадок с учетом количества их в разработке. При отработке крутонаклонных слоев по всему периметру карьера определяется их площадь на каждом горизонте согласно приведенным аналитическим зависимостям. При выделении отдельных участков, которые отрабатываются крутонаклонными слоями, вычисление площадей может производиться интегрально или же можно перейти к полярной системе координат при этом учитывается коэффициент искажения площади. На количество рабочих площадок оказывает влияние численность уступов, которые формируют временно нерабочие участки. Так, при проектной глубине карьера 400 м наибольшее количество рабочих уступов 6 единиц приходится на глубину 300 м. Рабочие уступы со стороны лежачего бока месторождения максимально составляют 4 единицы или же на определенном этапе отработки могут отсутствовать.

#### Перечень ссылок

1. Симоненко В., Павличенко, А., Черняев, О., Гриценко, Л. (2016). Технологічні аспекти екологізберігаючої доробки нерудних кар'єрів при їх ліквідації та консервації. Вісник національного університету водного господарства та природокористування: зб.наук.праць. Рівне. (2), 148-158.
2. Хохряков, В. (1991). Открытая разработка месторождений полезных ископаемых: Учеб. для техникумов. М.: Недра,. – 336с.
3. Shustov, O., & Dryzhenko, A. (2016). Organization of Dumping Stations with Combined Transport Types in Iron Ore Deposits Mining. *Mining of Mineral Deposits*, 10 (2), 78-84.

#### ABSTRACT

**The purpose.** To determine the basic parameters of working edges at working out overburden rocks by steep layers. Formation edges' pit with sizeable angles of slope is an important task, as it allows largeness of overburden postpone to a later period of development of the field.

**The methods** of research consist in the graphical construction of the pit edge, the analytical determination of number of the benches, and the analysis of the obtained results.

**Findings.** Number of the benches, which form temporarily nonworking edges influences on number of the working plots at working out heavy pitching layers. Technological scheme of conducting works ground steep layers is promising for many deep pits where formed steep slopes temporarily closed pit's edges.

**Originality.** The working zone of the pit edge at working out by steep layers is studied.

**Practical implications.** The obtained results can be used in the designing of deep open pits.

**Keywords:** *open pit, bench, pit edge, steep slope layers*