

The originality is to develop methodology lies in the proposed algorithm for grapho-analytical modeling of the dynamics of excavating and loading operations. It performs the spatial binding of the calculated planned volumes of rock mass.

Practical implications is to develop methodology for operational planning of mining operations in the iron ore quarry will be used in the automated production planning system of Poltava GOK.

Keywords: *iron ore quarry, mining operations, operational planning, methodology, modeling approach*

УДК 622.271.3

© А.А. Адамчук

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ КАПИТАЛЬНОЙ ТРАНШЕИ ПРИ ВСКРЫТИИ ГОРИЗОНТОВ КАРЬЕРА С УЧЕТОМ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ

© А. Adamchuk

METHOD OF CALCULATION OF MAIN TRENCH PARAMETERS DURING OPEN-CAST MINING TAKING INTO ACCOUNT THE TERRAIN

Выполнен анализ параметров проведения капитальной траншеи простой формы. Приведена новая методика расчета длины и объема траншеи в условиях ее проведения на участке с наклонной поверхностью земли. Установлена зависимость снижения горно-капитальных работ при проведении капитальной траншеи от продольного и поперечного уклона поверхности земли, параметры которой рассчитаны по новой методике.

Виконано аналіз параметрів проведення капітальної траншеї простої форми. Наведено нову методику розрахунку довжини і об'єму траншеї в умовах її проведення на ділянці з похилою поверхнею землі. Встановлено залежність зменшення гірничо-капітальних робіт при проведенні капітальної траншеї від поздовжнього і поперечного кута нахилу поверхні землі, параметри якої розраховані за новою методикою.

Вступление. Вскрытие месторождения занимает ключевую роль в подготовке полезного ископаемого к выемке вне зависимости от формы и глубины его залегания. В условиях открытых горных работ вскрытие верхних рабочих горизонтов производят капитальными траншеями, нижних, кроме того – шахтными стволами и штольнями. Установление рациональных параметров вскрывающих выработок предопределяет успешную работу как горнотранспортного комплекса, так и горного предприятия в целом. При этом одним из важнейших факторов выбора расположения и расчета параметров открытых вскрывающих выработок является рельеф местности. На параметры проведения и расположение штолен и шахтных стволов он существенного влияния не оказывает. В то

же время капитальные траншеи, а также разрезные котлованы и траншеи сооружают, как правило, на участках поверхности с меньшей мощностью пород вскрыши.

Постановка задачи. Основными параметрами капитальной траншеи являются угол откоса ее бортов (α , град), ширина подошвы (b , м), продольный уклон (i , ‰), глубина заложения (H_K , м), длина в плане (L_K , м) и строительный объем (V_K , м³). Угол откоса бортов (α) траншеи устанавливается с учетом физико-технических свойств вскрываемых пород и степени их обводнения. Величина угла откоса бортов капитальной траншеи должна не превышать величину угла естественного откоса вскрываемых пород в целике. Ширина подошвы (b) и продольный уклон (i) капитальной траншеи зависят, прежде всего, от параметров горнотранспортного оборудования. Глубина заложения капитальной траншеи (H_K) равна разнице отметок ее устья и подошвы вскрываемого рабочего горизонта. Длина в плане (L_K) и строительный объем капитальной траншеи (V_K) зависят от глубины ее заложения (H_K) и определяются по формулам [1]:

$$L_K = \frac{1000H_K}{i}, \quad (1)$$

$$V_K = \frac{H_K^2}{i} \left(\frac{b}{2} + \frac{H_K}{3 \operatorname{tg} \alpha} \right). \quad (2)$$

В то же время разница отметок устья траншеи и подошвы вскрываемого горизонта, как правило, не равна мощности пород на участке вскрытия вследствие уклона поверхности земли, а по формулам 1 и 2 рассчитывают длину капитальной траншеи и ее объем без учета продольного (γ , град) и поперечного (β , град) уклонов поверхности земли.

Цель работы заключается в разработке методики расчета параметров капитальной траншеи с учетом особенностей рельефа местности, а именно продольного и поперечного уклонов земной поверхности.

Методика исследования. При изыскании методики расчета параметров капитальной траншеи применен расчетно-аналитический метод для установления зависимостей параметров капитальной траншеи от уклона земной поверхности; метод абстрагирования – в существующую методику добавляются два новых признака: продольный и поперечный уклоны земной поверхности относительно контуров капитальной траншеи; метод моделирования и графо-аналитический метод – для апробации аналитических зависимостей и установления степени их точности.

Изложение основного материала. Объем капитальной траншеи, сооружаемой в сложных горно-геологических условиях, определяется по методу вертикальных параллельных сечений [2]. Метод заключается в построении поперечных параллельных сечений траншеи на определенном расстоянии друг от друга. Затем средние значения площадей соседних сечений умножают на расстояния между ними, а полученные объемы суммируют.

Точность подсчета объема траншеи таким методом обратно пропорциональна расстоянию между сечениями. При этом измерение объема производит-

ся по уже отстроеной в плане выработке. Таким образом, при рассмотрении нескольких вариантов вскрытия следует все их отстроить в плане и замерить их объем, что связано с дополнительными затратами времени на проектирование.

Наиболее точным методом расчета объема траншеи является построение ее модели в трехмерной системе автоматизированного проектирования, например, AutoCad, Компас, SolidWorks, и др. После чего средствами системы производится замер объема модели. Несмотря на высокую точность расчета объема траншеи, такой метод связан со значительными затратами времени, а также чреват наличием ошибок при построении сложных моделей, что отрицательно сказывается на точности расчета.

В качестве альтернативы известным графо-аналитическим методам расчета длины капитальной траншеи в плане и ее объема предлагается производить их по формулам, полученным расчетно-аналитическим методом. Так, на рис. 1 представлены продольный (а) и поперечный (б) разрезы, проведенные по дну капитальной траншеи простой формы. Сплошной жирной линией показан уровень земной поверхности под продольным (γ) и поперечным уклоном (β) относительно расположения капитальной траншеи. Штриховой линией показано идеальное положение земной поверхности, при котором соблюдаются условия $\gamma = 0^\circ$, $\beta = 0^\circ$. Соблюдение этих условий дает возможность рассчитать длину в плане и объем капитальной траншеи по формулам 1 и 2.

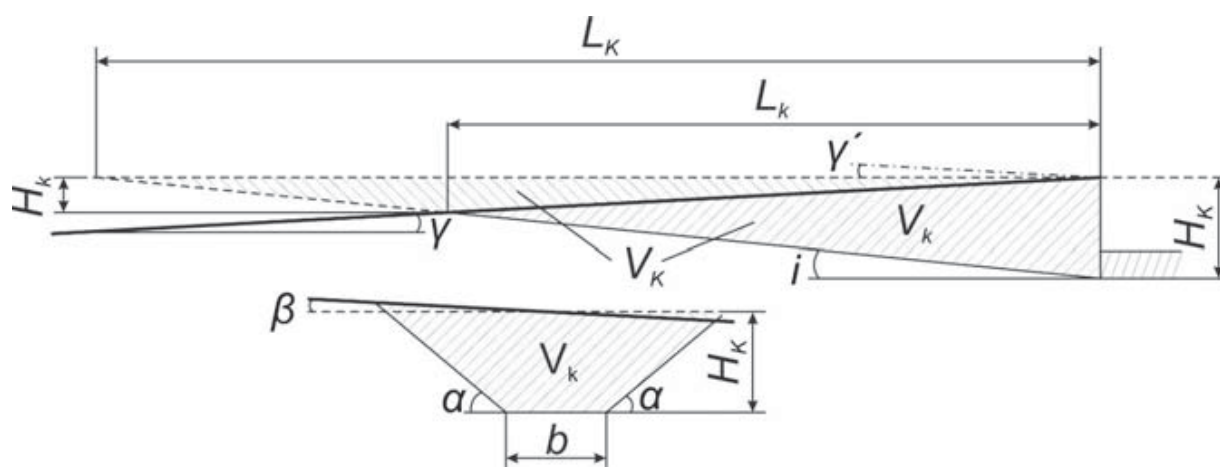


Рис. 1. Схема к определению параметров внешней капитальной траншеи

Формула для определения длины капитальной траншеи в плане с учетом продольного уклона земной поверхности L_k , м представлена в виде:

$$L_k = \frac{H_k}{\operatorname{tg} \gamma}, \quad (3)$$

где: H_k – разница отметок идеальной поверхности земли и устья капитальной траншеи, м; γ – продольный угол уклона земной поверхности, град.

$$H_k = (L_K - L_k) \operatorname{tgi}, \quad (4)$$

где: L_K – длина капитальной траншеи в плане при $\gamma = 0^\circ$, град.

Подставив выражение 4 в формулу 3 получим:

$$L_k = \frac{(L_K - L_k) \operatorname{tgi}}{\operatorname{tg} \gamma} = \frac{L_K \operatorname{tgi}}{\operatorname{tg} \gamma} - \frac{L_k \operatorname{tgi}}{\operatorname{tg} \gamma} = \frac{\frac{H_K}{\operatorname{tgi}} \operatorname{tgi}}{\operatorname{tg} \gamma} - \frac{L_k \operatorname{tgi}}{\operatorname{tg} \gamma} = \frac{H_K}{\operatorname{tg} \gamma} - \frac{L_k \operatorname{tgi}}{\operatorname{tg} \gamma};$$

$$L_k \operatorname{tg} \gamma = H_K - L_k \operatorname{tgi}; \quad H_K = L_k \operatorname{tg} \gamma + L_k \operatorname{tgi} = L_k (\operatorname{tg} \gamma + \operatorname{tgi});$$

$$L_k = \frac{H_K}{\operatorname{tg} \gamma + \operatorname{tgi}}. \quad (5)$$

Объем капитальной траншеи определяется как сумма объемов трех фигур: одной треугольной призмы и треугольных двух пирамид:

$$V_k = V_1 + V_2 + V_3, \quad (6)$$

$$V_1 = \frac{H_K^2 b}{2(\operatorname{tg} \gamma + \operatorname{tgi});} \quad V_2 = \frac{H_K \left(H_K + \frac{b}{2} \operatorname{tg} \beta \right)^2}{6 \operatorname{tg} \alpha (\operatorname{tg} \gamma + \operatorname{tgi});} \quad V_3 = \frac{H_K \left(H_K - \frac{b}{2} \operatorname{tg} \beta \right)^2}{6 \operatorname{tg} \alpha (\operatorname{tg} \gamma + \operatorname{tgi});} \quad (7)$$

Подставив выражения 7, в формулу 6 получим:

$$V_k = \frac{H_K^2 b}{2(\operatorname{tg} \gamma + \operatorname{tgi})} + \frac{H_K \left(H_K + \frac{b}{2} \operatorname{tg} \beta \right)^2}{6 \operatorname{tg} \alpha (\operatorname{tg} \gamma + \operatorname{tgi})} + \frac{H_K \left(H_K - \frac{b}{2} \operatorname{tg} \beta \right)^2}{6 \operatorname{tg} \alpha (\operatorname{tg} \gamma + \operatorname{tgi})} =$$

$$= \frac{H_K^2 b}{2(\operatorname{tg} \gamma + \operatorname{tgi})} + \frac{H_K^3 + H_K^2 b \operatorname{tg} \beta + H_K \frac{b^2}{4} \operatorname{tg}^2 \beta + H_K^3 - H_K^2 b \operatorname{tg} \beta + H_K \frac{b^2}{4} \operatorname{tg}^2 \beta}{6 \operatorname{tg} \alpha (\operatorname{tg} \gamma + \operatorname{tgi})} =$$

$$= \frac{H_K^2 b}{2(\operatorname{tg} \gamma + \operatorname{tgi})} + \frac{2H_K^3 + 2H_K \frac{b^2}{4} \operatorname{tg}^2 \beta}{6 \operatorname{tg} \alpha (\operatorname{tg} \gamma + \operatorname{tgi})} = \frac{H_K}{\operatorname{tg} \gamma + \operatorname{tgi}} \left(\frac{H_K b}{2} + \frac{H_K^2 + \frac{b^2}{4} \operatorname{tg}^2 \beta}{3 \operatorname{tg} \alpha} \right) =$$

$$= \frac{H_K^2}{\operatorname{tg} \gamma + \operatorname{tgi}} \left(\frac{b}{2} + \frac{H_K}{3 \operatorname{tg} \alpha} + \frac{\frac{b^2}{4} \operatorname{tg}^2 \beta}{3 H_K^2 \operatorname{tg} \alpha} \right) = \frac{H_K^2}{\operatorname{tg} \gamma + \operatorname{tgi}} \left(\frac{b}{2} + \frac{H_K}{3 \operatorname{tg} \alpha} + \frac{b^2 \operatorname{tg}^2 \beta}{12 H_K^2 \operatorname{tg} \alpha} \right)$$

$$V_k = \frac{H_K^2}{\operatorname{tg} \gamma + \operatorname{tgi}} \left(\frac{b}{2} + \frac{H_K}{3 \operatorname{tg} \alpha} + \frac{b^2 \operatorname{tg}^2 \beta}{12 H_K^2 \operatorname{tg} \alpha} \right). \quad (8)$$

В формулу 5 значение продольного угла уклона поверхности земли γ при отсчете против часовой стрелки от уровня горизонта подставляется с положительным знаком, по часовой – с отрицательным. При этом его модуль (γ) должен быть меньше, чем значение угла продольного уклона капитальной траншеи (i):

$$\gamma' < i. \quad (9)$$

Из рис. 1 следует, что при $\gamma \geq 90^\circ$ $L_k = 0$ м, $V_k = 0$. Показатель β на вычисление длины капитальной траншеи в плане не влияет, а для вычисления объема капитальной траншеи по формуле 8 помимо условия 9, следует соблюдать следующие условия:

$$\beta \leq \arctg \frac{2H_k}{b}; \beta < \alpha. \quad (10)$$

Для установления влияния продольного и поперечного уклонов поверхности на объем капитальной траншеи следует определить постоянные величины в виде $\alpha = 40^\circ$, $tgi = 0,08$ [3], $H_k = 15...30$ м, $b = 15...30$ м [4, 5].

График функции $V_k = f(\gamma, \gamma')$ на рис. 2, 3 представляет собой тангенсоиду, которая наблюдается только в первом и во втором координатных углах, поскольку величина объема не может быть меньше нуля. При этом ее значение исчисляется в пределах $-i \leq \gamma \leq 90^\circ$. Для наглядности график функции разделен на две части: из первого координатного угла (рис. 2) и из второго (рис. 3). При этом значения углов на рис. 3 приняты в виде $-\gamma = \gamma'$.

Из графиков, представленных на рис. 2 следует, что функция $V_k = f(\gamma)$ убывает наиболее интенсивно при $\gamma = 0...10^\circ$, при чем объем капитальной траншеи при продольном уклоне 5° в два раза меньше, чем при идеально горизонтальной поверхности земли, а при 10° – в три.

Из графиков, представленных на рис. 3 следует, что функция $V_k = f(\gamma')$ возрастает наиболее интенсивно при $\gamma' = 4...4,5^\circ$, при чем объем капитальной траншеи при продольном уклоне 2° в два раза больше, чем при идеально горизонтальной поверхности земли, при 3° – в три, 4° – в восемь, а $4,5^\circ$ – в 62 раза. Таким образом, незначительное изменение продольного угла уклона поверхности земли в значительной мере влияет на значение величины объема капитальной траншеи.

На рис. 4 представлены графики зависимости изменения объема капитальной траншеи от продольного угла уклона поверхности земли. График функции $V_k = f(\beta)$ представляет собой параболу, которая представлена в первом и во втором координатном углах, поскольку величина объема не может быть меньше нуля. При этом ее значение исчисляется в пределах $-\alpha < \beta < \alpha$. Часть графика во втором координатном угле к рассмотрению не принимается, поскольку смена знака значения β влияет только на направление поперечного уклона, а на значение объема не влияет.

Из графиков на рис. 4 следует, что функция $V_k = f(\beta)$ является возрастающей. При этом объем капитальной траншеи при поперечном уклоне $\sim 40^\circ$ на 3 – 20 % больше, чем при горизонтальной поверхности земли. В то же время при продольном уклоне 1° объем капитальной траншеи снижается на 18 % относительно $\gamma = 0^\circ$. Таким образом, незначительное изменение значения продольного уклона поверхности земли в значительной мере влияет на значение величины объема капитальной траншеи. В то же время изменение поперечного угла

наклона оказывает значительное влияние лишь в местности со значительным уклоном земной поверхности. Поскольку большую часть территории Украины и мира занимают равнины с уклоном до 5° , то в большинстве случаев объем капитальной траншеи следует исчислять по формуле:

$$V_k = \frac{H_k^2}{tg\gamma + tgi} \left(\frac{b}{2} + \frac{H_k}{3tg\alpha} \right). \quad (11)$$

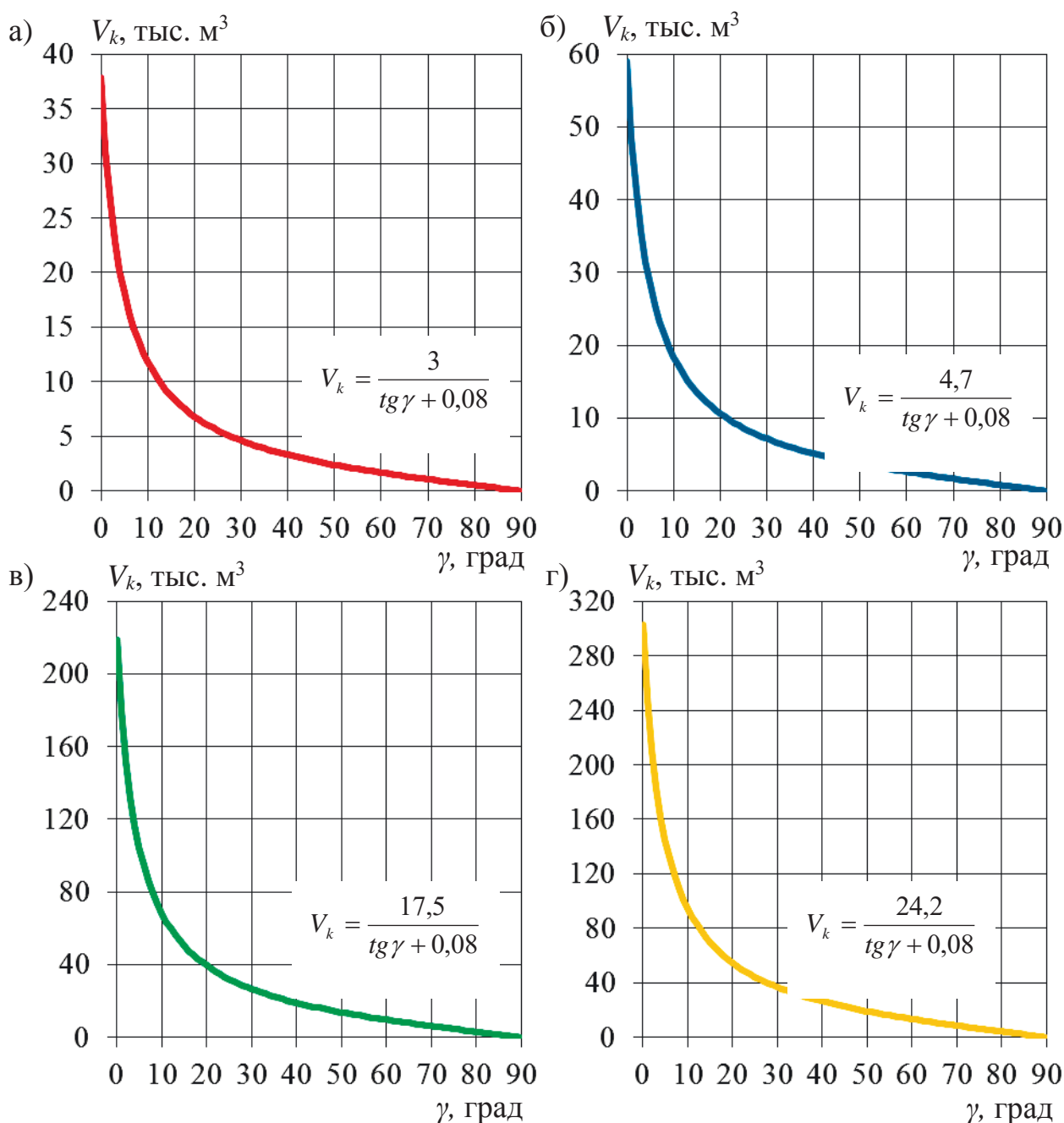


Рис. 2. Графики зависимости объема капитальной траншеи (V_k , тыс. м³) от продольного угла уклона поверхности земли (γ , град) при а) $H_k = 15$ м, $b = 15$ м, б) $H_k = 15$ м, $b = 30$ м; в) $H_k = 30$ м, $b = 15$ м; г) $H_k = 30$ м; $b = 30$ м

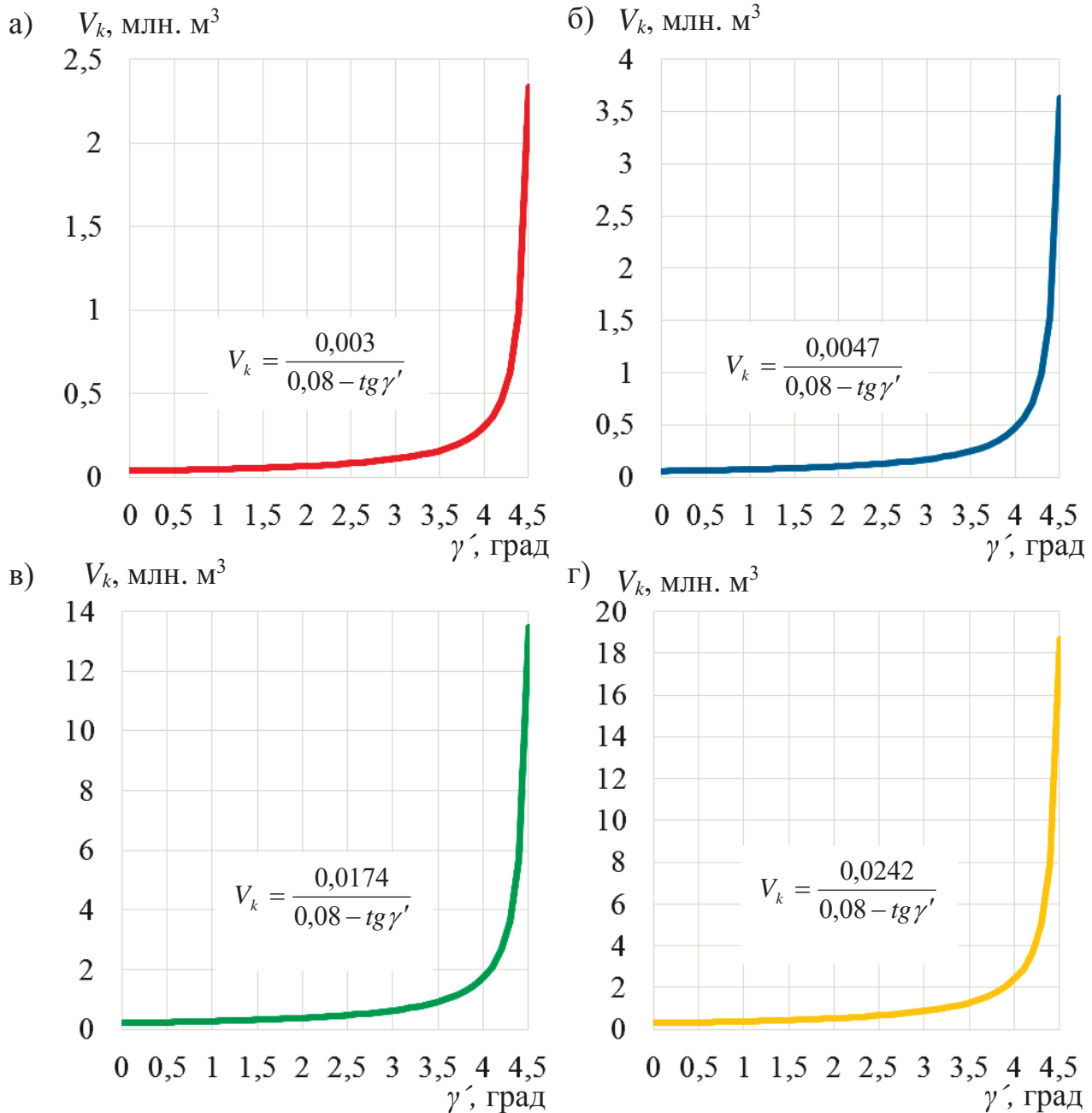


Рис. 3. Графики зависимости объема капитальной траншеи (V_k , млн. м³) от продольного угла уклона поверхности земли (γ' , град) при а) $H_k = 15$ м, $b = 15$ м; б) $H_k = 15$ м, $b = 30$ м; в) $H_k = 30$ м, $b = 15$ м; г) $H_k = 30$ м; $b = 30$ м

Выводы и рекомендации. Установлено, что на длину капитальной траншеи в плане и ее объем в значительной мере оказывает влияние продольный угол наклона поверхности земли. Поперечный уклон земной поверхности на длину капитальной траншеи в плане влияния не оказывает, а на ее объем влияет незначительно. Вследствие этого в условиях равнинной местности показателем поперечного уклона поверхности земли можно пренебречь.

Сооружение капитальной траншеи в условиях, когда отметка ее устья находится выше отметки уровня горизонта не рекомендуется, поскольку это сопряжено со значительными затратами на выемку строительного объема гор-

ных пород. В этом случае следует пересмотреть расположение капитальной траншеи таким образом, чтобы отметка ее устья была ниже отметки уровня горизонта.

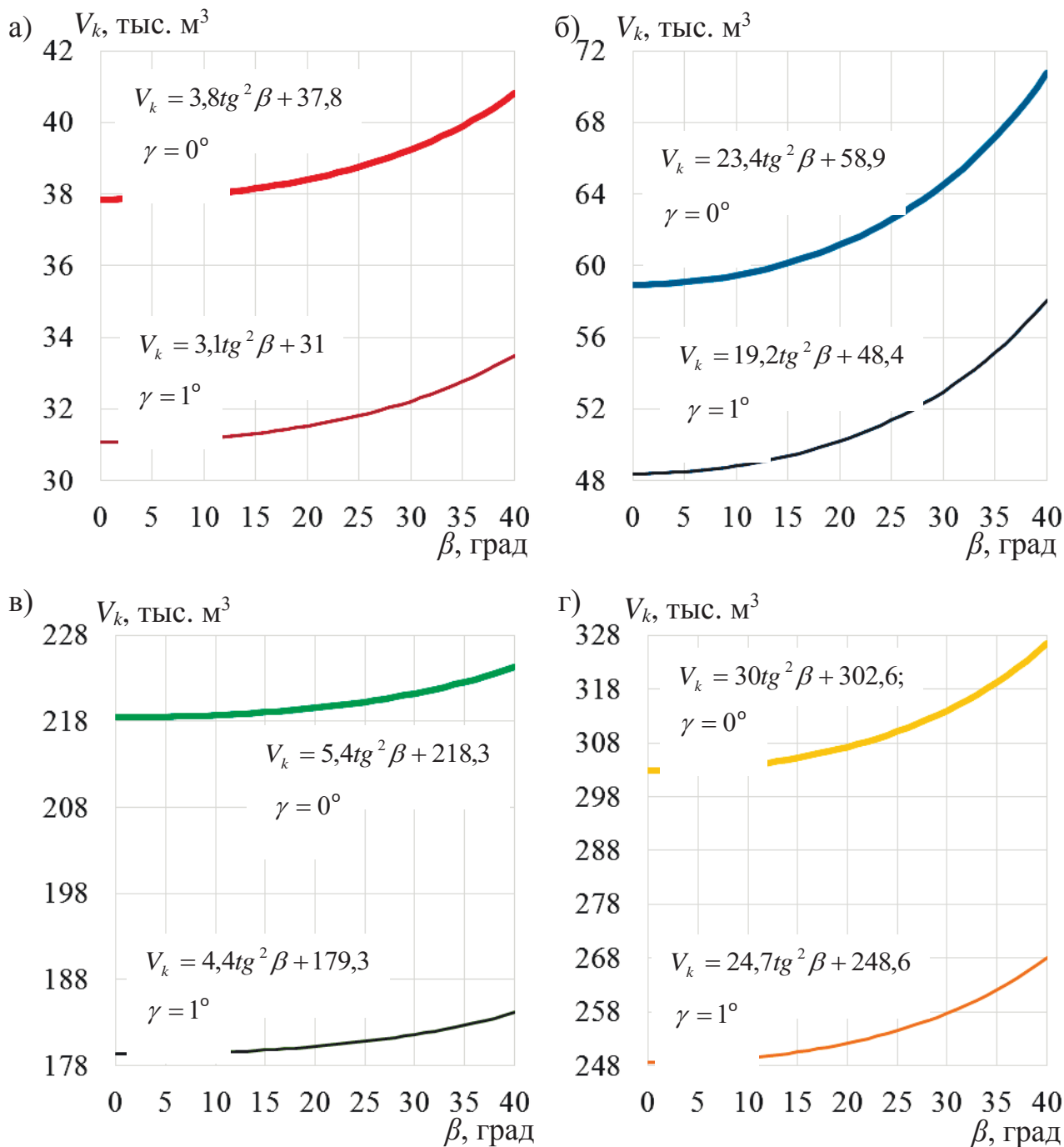


Рис. 4. Графики зависимости объема капитальной траншеи (V_K , тыс. м³) от поперечного угла уклона поверхности земли (β , град) при а) $H_k = 15$ м, $b = 15$ м, б) $H_k = 15$ м, $b = 30$ м; в) $H_k = 30$ м, $b = 15$ м; г) $H_k = 30$ м; $b = 30$ м

Перечень ссылок

1. Дриженко А.Ю. Відкриті гірничі роботи: підручник / А.Ю. Дриженко; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Дніпропетровськ: НГУ, 2014. – 590 с.
2. Технологія відкритої розробки родовищ корисних копалин: навч. посіб.: у 2-х ч. Ч.1. Розкриття родовищ / Б.Ю. Собко, Г.Д. Пчолкін, Г.Я. Корсунський, О.В. Ложніков ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Дніпро : НГУ, 2017. – 166 с. – ISBN 978-966-350-647-0.
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. <https://doi.org/10.15407/mining10.02.078>
4. Симоненко В.І. Технологічні аспекти екологозберігаючої доробки нерудних кар'єрів при їх ліквідації та консервації / В.І. Симоненко, А.В. Павличенко, О.В. Черняєв, Л.С. Гриценко // Вісник національного університету водного господарства та природокористування: зб.наук.праць. – Рівне. 2016. – Вип. 2. – С.148-158.
5. Анисимов О. А. Технология строительства и разработки глубоких карьеров [Текст]: монография / О.А. Анисимов; Гос. вуз "Нац. горный ун-т". - Днепропетровск: НГУ, 2015. – 272 с.: рис., табл. - Назва обкл.: Технологии строительства и разработки глубоких карьеров. – Бібліогр.: с. 266-269. – 100 экз. – ISBN 978-966-2267-91-4

ABSTRACT

Purpose. To develop the method of calculation of main trench parameters taking into account longitudinal and cross slopes of the terrain

The methods of research are calculation and analytical method (to determine correlations of main trench parameters taking into account the terrain), abstraction method (to add in method two new features: longitudinal and cross slopes of the terrain), modeling method and graph-analytical method (to justify analytical correlations).

Findings. Correlations of finished trench volume and longitudinal and cross slopes of the terrain are determined. Method of calculation of main trench length and volume taking into account the terrain is adjusted. Influence of longitudinal and cross slopes of the terrain on main trench length and volume is calculated.

The originality is to justify method of calculation of main trench parameters taking into account longitudinal and cross slopes of the terrain.

Practical implications. To develop recommendations for installation of main trench taking into the terrain.

Keywords: *main trench parameters, longitudinal slope angle, cross slope angle.*