

УДК 622.013.364

**М.В. Костромин, А.А. Леонтьев**

## **УСТОЙЧИВОСТЬ УГЛОВ НАКЛОНА БОРТОВ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

*Рассмотрены особенности определения параметров устойчивых углов откосов бортов карьера при технологии вскрышных работ с внешним отвалообразованием с разработкой торфов одним уступом, с внешним и внутренним отвалообразованием на примере, месторождений «Нагима» (Амурская область), «Шеркуча», «Данду-Хангарок» (Забайкальский край) и «Куранах» (Республика Саха (Якутия).*

*Ключевые слова: вскрышные работы, внешнее отвалообразование, устойчивые углы откосов, разработка торфов одним уступом.*

**Р**аспределение в глубоких россыпях четвертичных отложений различных генетических типов, разнообразие состава наносов (от крупнообломочных до глинистых), состояние пород (от талых текучей консистенции до твердомерзлых) обуславливают изменение в широких пределах из физико-механических свойств.

Размер рабочей зоны разреза определяется конструкцией профиля и углами откосов бортов, поэтому для разделения вскрышной толщи на уступы необходимы данные о свойствах отдельных породных литологических слоев и их распределение по глубине месторождения. Определение устойчивости откосов горных выработок и отвалов производится различными методами. Для расчета устойчивости уступов, бортов и отвалов при разработке россыпных месторождений ранее использовалась методика, основанная на применении метода конечных элементов и реализуемая с помощью комплекса программ (рис. 1). Основные преимущества этого метода заключаются в том, что он позволяет задать элементам расчетной схемы различные физико-механические

свойства, учесть реальное напряженно-деформированное состояние и внешние нагрузки.

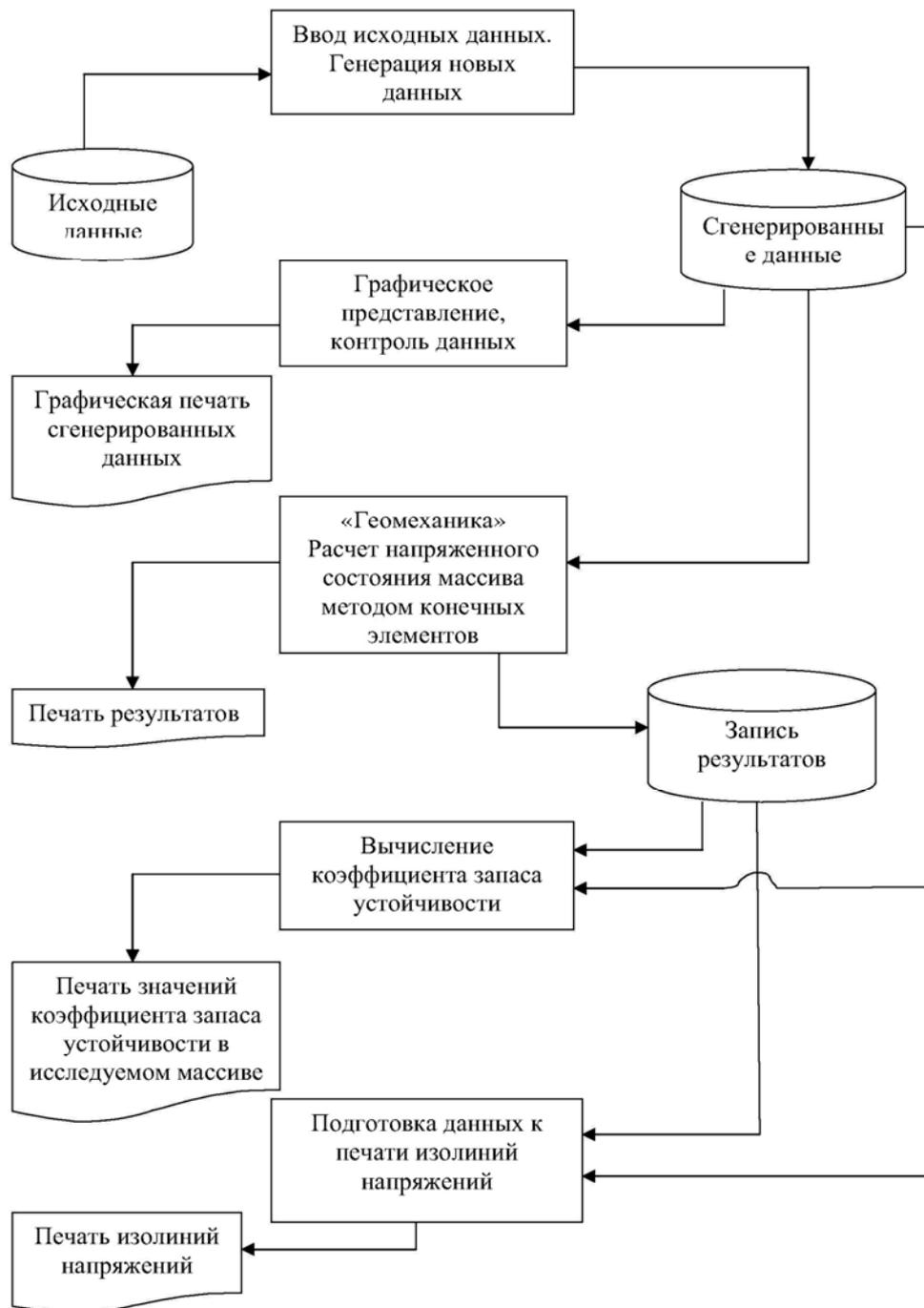
Выделим основные применяемые и перспективные технологические схемы вскрышных работ для условий, глубоких россыпных месторождений:

1) вскрышные работы ведутся одним уступом высотой до 35 м с внешним отвалообразованием;

2) вскрышные работы ведутся двумя уступами с внешним и внутренним отвалообразованием частично мерзлых пород;

3) вскрышные работы ведутся двумя уступами высотой более 45 м по поточной и бестранспортной технологиям с внутренним отвалообразованием. Данная схема на сегодняшний день является перспективной и разработана для глубокозалегающих (до 45 м) крупных россыпных месторождений.

Рассмотрим особенности определения параметров при технологии вскрышных работ с внешним отвалообразованием с разработкой торфов одним уступом, с внешним и внутренним отвалообразованием (например, месторождений «Нагима» (Амурская



**Рис. 1. Алгоритм расчета устойчивости геотехнических сооружений**

область), «Шеркуча», «Данду-Хангарок» (Забайкальский край)). Наличие горизонтального пласта песков и мощности наносов до 32 м на месторождении «Нагима» предопределяет применение на вскрышных работ драглайнов ЭШ – 10/70 и ЭШ – 5/45.

На рассматриваемом месторождении часть торфов разрабатывается одним уступом высотой от 15 до 25 м. Наносы мощностью 25–40 м разделяют на два уступа. Параметры технологической схемы определены для средней мощности наносов, равной 32 м. Вскрышные породы первого уступа мощностью 18 м размещаются на борту карьера драглайном ЭШ – 10/70. Породы второго уступа, высотой 14 м размещаются драглайном ЭШ – 5/45 в выработанное пространство.

Можно определить две основные расчетные схемы формирования борта карьера: с одним уступом и с двумя уступами. Каждая из этих схем рассчитана в нескольких вариантах:

а) борт сухой без многолетнемерзлых пород; борт многолетнемерзлый; борт многолетнемерзлый с оттаявшим поверхностным слоем;

б) без нагрузки; с нагрузкой от драглайна; с нагрузкой от отвала;

в) с изменением высоты уступа от 10 до 25 м; с изменением угла откоса уступа от 40 до 60°.

Результаты расчетов коэффициентов запаса устойчивости ( $K_{з.у}$ ) борта карьера (табл. 1) обработаны также методом регрессивного анализа, что позволило установить следующие зависимости.

Зависимость коэффициента запаса устойчивости мерзлого борта от угла откоса при высоте уступа  $H = 25$  м выражается следующим образом:

$$K_{з.у} = 2,06 - 1,53\alpha^2 \cdot 10^{-4}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – угол откоса борта карьера, град.

Зависимость коэффициента запаса устойчивости талого борта от угла наклона при высоте уступа  $H=20$  м:

$$K_{з.у} = 2,22 - 2,07\alpha^2 \cdot 10^{-4}, \quad (2)$$

Зависимость коэффициента запаса устойчивости мерзлого борта с оттаявшим слоем при высоте уступа  $H = 26$  м:

$$K_{з.у} = 1,61 - 1,99\alpha^2 \cdot 10^{-4}, \quad (3)$$

Зависимость коэффициента запаса устойчивости мерзлого борта с оттаявшим слоем от высоты уступа при угле откоса уступа  $\alpha=45^\circ$ :

$$K_{з.у} = 1,58 - 5,5H^2 \cdot 10^{-4}, \quad (4)$$

где  $H$  – высота борта, м.

Зависимость коэффициента запаса устойчивости мерзлого борта с оттаявшим слоем мощностью 2 м от высоты и угла откоса борта:

$$K_{з.у} = 1,95 - 2,00\alpha^2 \cdot 10^{-4} - 5,00H^2 \cdot 10^{-4}, \quad (5)$$

Зависимость коэффициента запаса устойчивости отвала от его высоты:

$$K_{з.у} = 1,37 - 1,92H_0^2 \cdot 10^{-4}, \quad (6)$$

где  $H_0$  – высота отвала, м.

Проведенные исследования устойчивости технологических элементов в зависимости от геометрических параметров и физических свойств пород позволяют применять использование полученных формул при определении параметров технологических схем в условиях месторождения «Нагима».

Результаты исследования коэффициента запаса устойчивости бортов карьера и отвалов от геометрических параметров и конструкции профиля карьера позволило установить следующее:

- высота отвала, сложенного тальными породами, не должна превышать 15 м (при условии выкладки отвала на расстоянии максимального радиуса разгрузки драглайна);

- угол откоса уступа при высоте 26 м должен быть не более 45°, при высоте 10 м – не более 60° (для уступа, сложенного оттаивающими породами);

- высота уступа, сложенного оттаивающими породами, при угле откоса 55° не должна превышать 16 м;

- для предотвращения сползания отвала в карьер необходимо оставлять берму безопасности не менее 10 м (для уступа, сложенного оттаивающими породами).

Рассмотрим особенности определения устойчивых углов откосов бортов карьера при технологии вскрышных работ с разработкой всей толщи двумя уступами и внутренним попусным отвалообразованием (на примере месторождения «Куранах» (Республика Саха (Якутия)).

Наличие горизонтального пласта песков шириной до 480 м, мощности наносов до 50 м незначительной валунистости (до 6,8 % класса + 200 мм), отсутствие в наносах грунтовых вод, высокий эксплуатационный коэффициент вскрыши (до 16,2), незначительная влажность (до 20 %) определяют возможности применения на вскрышных работах оборудование большой единичной мощности. Осложняющими факторами при разработке рассматриваемого месторождения является значительная мощность сезонного промерзания (до 2,5 м) и наличие отдельных участков многолетней мерзлоты. Для подобного месторождения по своим характеристикам была разработана комбинированная технология вскрышных работ на основе комплекса оборудования в

составе роторного экскаватора ЭР-1400-17,5/1,5 и отвалообразователя ОШ 21,2x110/45x36-6. Применение данного комплекса обеспечивает экскавацию уступа высотой до 17 м при ширине заходки до 25 м, радиус отвалообразования 110 м.

Для разрушения сезонно мерзлых пород применяется буровзрывное рыхление и предохранение талых пород от промерзания на площадях работы комплекса ЭР-1400. Наметим две группы системы разработки:

*Первая группа.* Технология вскрышных работ с использованием комплекса оборудования непрерывного действия ЭР-1400-17,5/1,5 + ОШ 21,2x110/45x36-6 применяется на разработке первого уступа мощностью 17 м, второй уступ обрабатывается драглайном ЭШ-10/70 с размещением вскрышных пород в выработанном пространстве. В технологической схеме рассмотрена возможность разработки и определены параметры технологических элементов при мощности наносов 35–50 м.

*Вторая группа.* Технология вскрышных работ с использованием шагающих драглайнов рассмотрена для условий вскрышных работ при наносах мощностью 35-50 м. Технологические схемы предусматривают разработку драглайнами ЭШ-10/70 наносов торфов двумя уступами с последующим отвалообразованием драглайном ЭШ-10/70.

Угол откоса первого вскрышного уступа, на площадке которого размещается роторный экскаватор ЭР-1400-17,5/1,5, принят не менее 60°, (определяется конструктивными особенностями экскаватора). Для уступов, разрабатываемых драглайнами, принят угол откоса борта 50°, для отвалов угол откоса поверхности составляет 37°, коэффициент разрыхления пород 1,3.

Таблица 1

**Результаты расчетов коэффициента запаса устойчивости борта**

Мощность наносов, м	Высота первого уступа, м	Высота второго уступа, м	Ширина рабочей площадки, м	Угол откоса первого уступа, град.	Угол откоса второго уступа, град.	$K_{з\gamma}$ схемы
15	15	–	–	45	–	1,43
20	20	–	–	45	–	1,35
25	25	–	–	45	–	1,23
30	16	14	35	45	40	1,50
					45	1,42
					50	1,32
					55	1,22
35	21	14	35	45	60	1,10
					40	1,40
					45	1,32
					50	1,23
40	26	14	35	45	55	1,12
					60	1,00
					40	1,29
					45	1,21
					50	1,11
					55	1,00
					60	< 1

Параметры технологических элементов карьера для схем с внутренним отвалообразованием определяются в зависимости от приемной способности отвала, высоты отвального яруса, размеров рабочего оборудования и других факторов.

Основные параметры технологической схемы определяются уравнением:

$$R = 0,5Ш_{x.p.} + K + H_{y.p.} \operatorname{ctg}\alpha_{y.p.} + m + f + Ш_{x.o.} + C + H_{y.d.} \operatorname{ctg}\alpha_y + H_t \operatorname{ctg}\alpha_y + b + h \operatorname{ctg}\alpha_n + a + A' + H_o \operatorname{ctg}\alpha_o. \quad (7)$$

где  $R$  – расстояние от оси хода роторного экскаватора до точки  $R = 0,5 Ш_{x.p.}$  отвалообразования, м;  $Ш_{x.p.}$ ,  $Ш_{x.o.}$  – соответственно ширина хода роторного экскаватора и отвалообразователя, м;  $K$  – расстояние между осью хода роторного экскаватора и верхней бровкой второго вскрышного уступа, м;  $m$  – расстояние меж-

ду нижней бровкой первого и верхней бровкой второго вскрышного уступов, м;  $f$ ,  $c$  – соответственно расстояния от точки опоры отвалообразователя до бровки вскрышного уступа, м;  $b$  – расстояние между нижней бровкой второго вскрышного уступа и верхней бровкой пласта песков, м;  $a$  – расстояние между нижними бровками пласта песков и отвала, м;  $H_{y.p.}$ ,  $H_{y.d.}$ ,  $H_t$ ,  $h$  – соответственно высоты уступов, разрабатываемых роторным экскаватором, драглайном, карьерным экскаватором на автотранспорт и мощность пласта песков, м;  $\alpha_{y.p.}$ ,  $\alpha_y$ ,  $\alpha_n$ ,  $\alpha_o$ , – соответственно углы откоса уступов, разрабатываемых роторным экскаватором, драглайном, пласта песков и отвалов, град.;  $A'$  – ширина отвальной площадки, занимаемой породами отвала от экскавации второго уступа, м;  $H_o$  – высота группового отвала, м.

Тогда высота группового отвала:

$$H_o = [R - 0,5Ш_{x.p} - K - H_{y.p} \operatorname{ctg}\alpha - m - f - Ш_{x.o} - C - H_{y.d} \operatorname{ctg}\alpha_y - H_t \operatorname{ctg}\alpha_y - b - h \operatorname{ctg}\alpha_n - a - A'] : \operatorname{ctg}\alpha_o. \quad (8)$$

Размер отвальной площади:

$$A' = H_{o.d} \operatorname{ctg}\alpha_o - X, \quad (9)$$

где  $H_{o.d}$  – высота отвала отсыпаемого драглайном, м;  $X$  – расстояние между отвальной площадкой и осью разгрузки отвалообразователя, м;

$$X = H_o \operatorname{ctg}\alpha_o - A, \quad (10)$$

где  $A$  – ширина заходки (ширина отвальной площадки), м.

$$H_o = \frac{AH_n K_p + 0,25A'^2 \operatorname{tg}\alpha_o}{A'}; \quad (11)$$

$$H_o = (H_{y.p} H_{y.d}) K_p + 0,25A \operatorname{ctg}\alpha_o. \quad (12)$$

Тогда

$$A' = (H_{y.p} + H_{y.d}) K_p \operatorname{ctg}\alpha_o + 0,13A + \frac{\sqrt{[(H_{y.p} + H_{y.d}) K_p \operatorname{ctg}\alpha_o - 0,75A]^2 + 1,5}}{1,5} + \frac{\sqrt{3,0AH_n K_p \operatorname{ctg}\alpha_o}}{1,5}. \quad (13)$$

Использование уравнения (8) позволяет получить зависимость приращения высоты и вместимости отвала от угла откоса борта карьера. Взаимосвязь между этими величинами описывается нелинейной функцией (рис. 2), показывающей, что увеличение угла откоса борта карьера позволяет заметно увеличить параметры внутреннего отвала.

Дальнейшее обоснование параметров технологических элементов заключается в оценке устойчивости бортов и отвалов рассматриваемых схем вскрышных работ. Анализ результатов графо-аналитических расчетов и конструирования технологи-

ческих схем показывает что оптимизацию параметров вскрышных уступов и отвалов целесообразно проводить в пределах: высота уступа 25 – 50 м; высота отвала драглайна 23 – 40 м; высота отвала отвального комплекса 36 – 67 м при изменении угла откоса вскрышного уступа от 50 до 65°.

Технологическая схема ведения вскрышных работ комплексом в составе ЭР-1400 + ОШ-10/70 характеризуется изменением параметров: ширина рабочей площадки 55–75 м; высота второго уступа 13–33 м; угол откоса второго уступа 50–65 м.

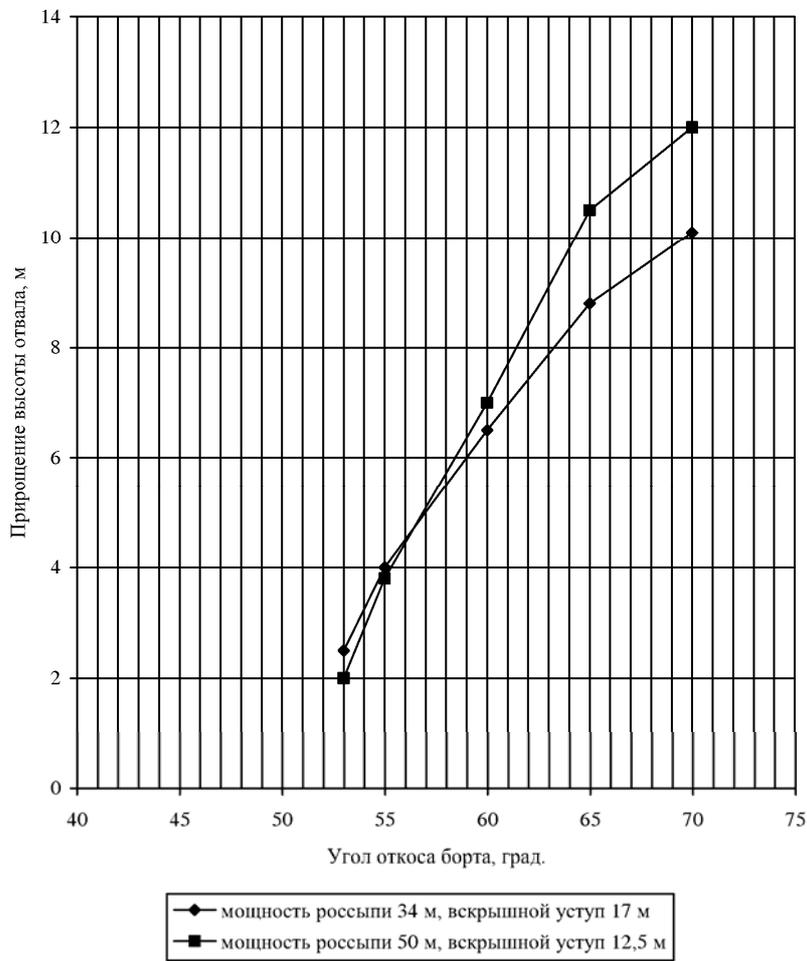
Геометрические параметры первого уступа приняты по рабочим характеристикам роторного экскаватора: высота 17 м и 60°. Дополнительные нагрузки (P1, P2, P3), задаются соответственно весу роторного экскаватора, отвалообразователя и драглайна и их взаиморасположению.

Технологическая схема отражает технологию вскрышных работ с внутренним отвалообразованием драглайном ЭШ-10/70. Рассматривается один уступ с изменением  $H_y^1$ , и  $\alpha_y^1$  соответственно 35–54 м и 50–70 град. и два уступа (подступа) с изменением  $H_y^1$ ,  $H_y^2$  и  $\alpha_y^1$ ,  $\alpha_y^2$  соответственной 15–27 м и 50–70 град. Точка приложения нагрузки драглайна обозначена индексом P3.

Результаты расчетов коэффициента запаса устойчивости схем предложены в табл. 2, 3.

Для отработки результатов расчетов примут метод регрессного анализа. Это позволило установить ниже следующие зависимости:

Зависимость коэффициента запаса устойчивости  $K_{зy}$  двухъярусного отвала от высоты  $H_2$  (рис. 3).



**Рис. 2. Зависимость приращения высоты внутреннего отвала от угла откоса вскрышного борта**

при высоте первого яруса  $H_1 = 23$  м      при высоте второго уступа  $H_2 = 13$  м

$$K_{з.у} = 2,91 - 6,25H_2^2 \cdot 10^{-4}; \quad (14) \quad K_{з.у} = 1,99 - 1,82\alpha_2^2 \cdot 10^{-4}; \quad (17)$$

при  $H_1 = 35$  м      при  $H_2 = 23$  м

$$K_{з.у} = 2,73 - 5,84H_2^2 \cdot 10^{-4}; \quad (15) \quad K_{з.у} = 1,73 - 1,51\alpha_2^2 \cdot 10^{-4}; \quad (18)$$

при  $H_1 = 40$  м      при  $H_2 = 33$  м

$$K_{з.у} = 2,57 - 5,47H_2^2 \cdot 10^{-4}. \quad (16) \quad K_{з.у} = 1,53 - 1,27\alpha_2^2 \cdot 10^{-4}. \quad (19)$$

Зависимость  $K_{з.у.}$  борта от угла откоса второго уступа  $\alpha_2$ :

Зависимость  $K_{з.у.}$  борта от высоты второго уступа  $H_2$  (рис. 4):

Таблица 2

**Результаты расчета коэффициента запаса устойчивости борта**

Мощность наносов, м	Высота первого уступа, м	Высота второго уступа, м	Ширина рабочей площадки, м	Угол откоса первого уступа, град	Угол откоса второго уступа, град	$K_{з.у}$ схемы
30	17	13	55	60	50	1,9
					55	1,8
					60	1,7
					65	1,4
35	17	18	55	60	50	1,9
					55	1,8
					60	1,7
					65	1,4
40	17	23	55	60	50	1,9
					55	1,8
					60	1,7
					65	1,4
45	17	28	55	60	50	1,9
					55	1,8
					60	1,7
					65	1,4
50	17	33	55	60	50	1,9
					55	1,8
					60	1,7
					65	1,4

Таблица 3

**Результаты расчета коэффициента запаса устойчивости двухъярусного отвала**

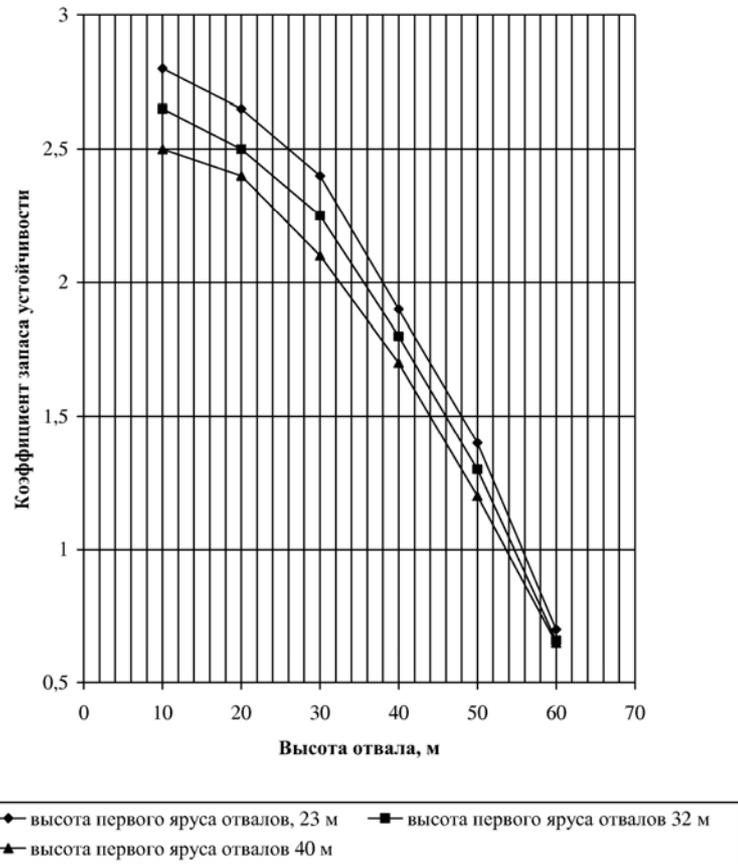
Высота первого яруса, м	Высота второго яруса, м	Ширина отвальной площадки, м	Угол откоса отвала, град.	$K_{з.у}$ схемы
23	36	15	37	2,10
	39			1,96
	42			1,81
	45			1,64
32	42	15	37	1,71
	45			1,55
	48			1,39
	51			1,
32	58	15	37	<1
	61			<1
	64			<1
	67			<1
40	50	15	37	1,20
	53			1,03
	56			<1
	59			<1

без нагрузки

с нагрузкой от ЭШ-10/70

$$K_{з.у} = 1,35 - 2,64H_2^2 \cdot 10^{-4}; \quad (20)$$

$$K_{з.у} = 1,31 - 2,97H_2^2 \cdot 10^{-4}; \quad (21)$$



**Рис. 3. Зависимость коэффициента запаса устойчивости двухъярусного отвала от его высоты**

с нагрузкой от роторно-отвального комплекса

$$K_{з.у.} = 1,26 - 2,67H_2^2 \cdot 10^{-4}. \quad (22)$$

Зависимость  $K_{з.у.}$  борта от угла откоса второго уступа  $\alpha_2$  с нагрузкой от ЭШ-10/70:

при  $H_2 = 23$  м

$$K_{з.у.} = 1,63 - 1,52\alpha_2^2 \cdot 10^{-4}; \quad (23)$$

при  $H_2 = 33$  м

$$K_{з.у.} = 1,42 - 1,26\alpha_2^2 \cdot 10^{-4}. \quad (24)$$

Зависимость  $K_{з.у.}$  борта от угла откоса уступа  $\alpha_2$  при одноступенной схеме:

при  $H = 35$  м

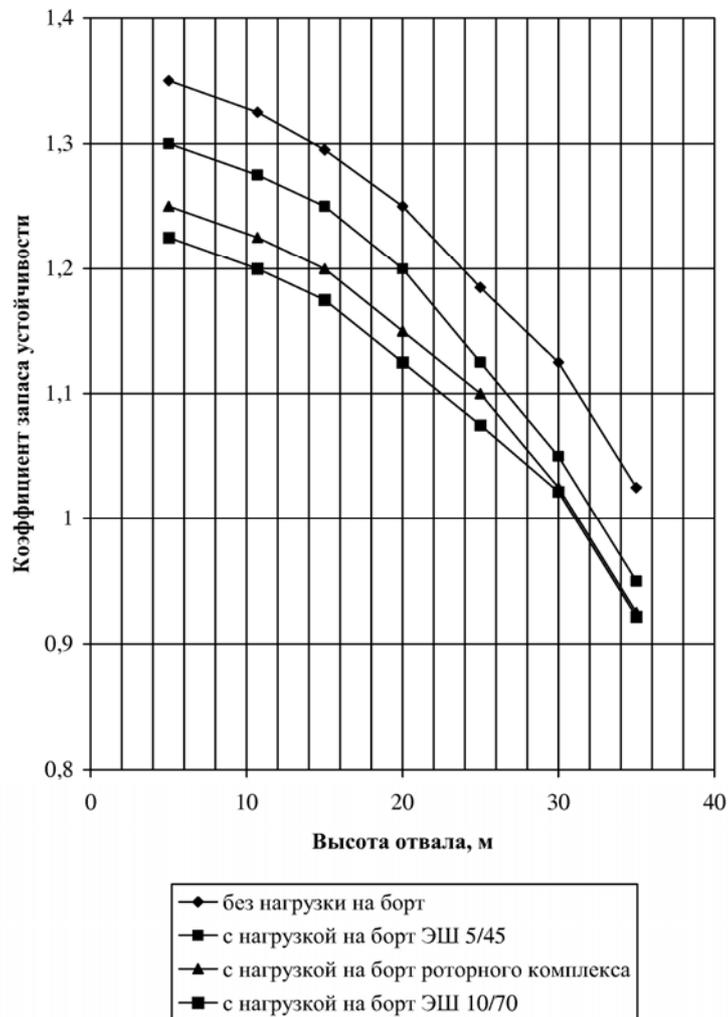
$$K_{з.у.} = 1,34 - 1,18\alpha_2^2 \cdot 10^{-4}; \quad (25)$$

при  $H = 54$  м

$$K_{з.у.} = 1,40 - 1,34\alpha_2^2 \cdot 10^{-4}. \quad (26)$$

Зависимость  $K_{з.у.}$  борта от угла откоса уступа  $\alpha_2$  с нагрузкой от роторно-отвального комплекса выражается следующим образом:

$$K_{з.у.} = 1,75 - 1,56\alpha_2^2 \cdot 10^{-4}; \quad (27)$$



**Рис. 4. Зависимость коэффициента запаса устойчивости от высоты уступа**

зависимость  $K_{з.у.}$  борта от высоты уступа  $H_2$  и угла откоса

$$K_{з.у.} = 1,84 - 2,49H_2^2 \cdot 10^{-4} - 1,43\alpha_2^2 \cdot 10^{-4} \quad (28)$$

Результаты расчетов (см. табл. 2, 3) и исследование полученных зависимостей позволяют установить следующее:

- предельная высота двухъярусного отвала ( $K_{з.у.} = 1,2$ ) при высоте

первого яруса 32 м равна 51 м, при высоте 40 м соответствует 50 м;

- максимально допустимый угол откоса второго уступа соответственно при высоте уступа 13 м – 65°, 23 м – 59°, 33 м – 51° (высота первого уступа 17 м, угол откоса уступа 60°);

- при формировании борта с углом откоса уступа  $\alpha_2 = 45^\circ$  возможно увеличение высоты уступа до 37 м;

- формирование борта с максимальной высотой уступа 40 м возможна с углом откоса 40°.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никифоров А.В., Добрынин А.С., Дудинский Ф.В. Устойчивость и оптимизация элементов систем разработки // Колыма. – 1988. – № 7. – С. 7–8.
2. Никифоров А.В., Дудинский Ф.В., Кочетков В.С. Влияние прочностных характеристик пород россыпных месторождений на устойчивые углы откосов технологических элементов карьера // Актуальные аспекты техники и технологии разработки месторождений полезных ископаемых Восточной Сибири: тез. докл. – Иркутск, 1990. – С. – 17–18.
3. Норри Д., Фриз Ж. Введение в метод конечных элементов. – М.: Мир, 1961. – 304 с.
4. Ермаков Ж.С., Карамбаев Т.Д., Лаптев В.И. и др. Приложение метода конечных элементов к задаче механики горных пород (обзор) // Механика горных пород. – Алма-Ата, 1970. – С. 3–17.
5. Сочерхин Л. Применение метода конечных элементов. – М.: Мир, 1979. – 329 с.
6. Введение в механику скальных пород. – М.: Мир, 1983. – 276 с.
7. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. – М.: Недра, 1987. – 329 с.
8. Несмашный Е.А., Романенко А.В. Прогноз устойчивости бортов рудных карьеров // Горный журнал. 1999. – № 2. – С. 36–37.
9. Попов В.Н., Попова О.В. Выбор рациональных конструкций нерабочих бортов карьера // Горный журнал. – 1999. – № 1. – С. 39–42.
10. Цветков В.Е. Расчет устойчивости откосов и склонов. – Саратов.: Нижне-Волжское кн. изд-во, 1979. – 238 с.
11. Демин А.М., Щукшина О.И. Напряженное состояние и устойчивость отвалов в карьерах. – М.: Недра, 1978. – 178 с.
12. Демин А.М., Иоффе А.М., Зенкин В.Л. Рациональный профиль борта карьера // Горный информ.-аналит. бюллетень. – М.: Изд-во МГГУ, 2002. – № 1. – С. 141–146. **ГИАБ**

### Коротко об авторах

*Костромин М.В.* – доктор технических наук, профессор Читинского государственного университета, действительный член (академик) МАМР и МАНЭБ, член-корреспондент РАЕН и РАНГ, kostromin@mail.chita.ru  
*Леонтьев А.А.* – аспирант Читинского государственного университета кафедры Открытые горные работы по специальности: геотехнология, подземная, открытая, строительная. Консультант отдела контроля природопользования в Государственной экологической инспекции Забайкальского края, lev\_hunter@mail.ru



## РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

**Яблонев А.Л.**, кандидат технических наук, Тверской государственной технической университет, alvovich@mail.ru

Колесные и гусеничные тракторы. Справочник. (819/03-11 от 12.01.2011) 104 с.

Рассмотрены конструкции современных колесных и гусеничных тракторов с модификациями, приведены их технические характеристики, изложены основы методики выбора трактора по энергетическим затратам, представлена история развития отечественного тракторостроения.

*Ключевые слова: колесный трактор, гусеничный трактор, мощность двигателя, скорость, расход топлива, давление на грунт.*

**Yablonev A.L.** WHEEL AND CATERPILLAR TRACTORS. REFERENCE BOOK

*The modern constructions of wheel and caterpillar tractors with modifications are observed, their technical characteristics are resulted, selection principle methods of tractor according to energy expenditures are accounted, history of native tractor building is presented.*

*Key words: wheel tractor, caterpillar tractor, engine capacity, speed, fuel expenditure, ground pressure.*