

Рыбин Вадим Вячеславович

старший научный сотрудник, доцент,
кандидат технических наук,
ГоИ КНЦ РАН,
184209, Мурманская область,
г. Апатиты, ул. Ферсмана, 24;
e-mail: rybin@goi.kolasc.net.ru

Калюжный Антон Сергеевич

аспирант,
ГоИ КНЦ РАН,
184209, Мурманская область,
г. Апатиты, ул. Ферсмана, 24,
e-mail: anton26@goi.kolasc.net.ru

Потапов Даниил Андреевич

аспирант,
ГоИ КНЦ РАН
184209, Мурманская область,
г. Апатиты, ул. Ферсмана, 24,
e-mail: potapovd@goi.kolasc.net.ru

**ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ДВУХЪ-
ЯРУСНЫХ ОТВАЛОВ С ПОМОЩЬЮ
ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА
«GALENA»**

Аннотация:

Проанализированы конструкция отвалов и технология отвалообразования действующих отвалов рудника «Железный» ОАО «Ковдорский ГОК».

Исследована возможность уменьшения бермы безопасности между ярусами отвалов скальных пород до половины высоты вышележащего яруса. С помощью лицензионного программного комплекса «Galena» произведен расчет устойчивости двухъярусных отвалов скальных пород с различными значениями ширины бермы безопасности и высоты ярусов. Расчеты показали, что конструкцию отвалов с бермой безопасности в половину высоты вышележащего яруса можно считать устойчивой (в диапазоне изменения высоты верхнего яруса от 70 м до 120 м). Произведена оценка возможности разгрузки автосамосвалов «за бровку» откоса яруса. Установлено, что влияние большегрузных автосамосвалов типа CAT-785C на устойчивость ярусов и отвалов является незначительным и не приводит к нарушению их устойчивости.

Ключевые слова: проектирование карьеров, многоярусный отвал, высота яруса, ширина бермы безопасности, устойчивость отвалов, коэффициент запаса устойчивости.

Vadim V. Rybin – PhD (Eng.), Senior Research worker. The Mining Institute of Kola Scientific Center, Russian Academy of Sciences
24, Fersman st., 184209 the Apatites,
Murmansk region, Russia
e-mail: rybin@goi.kolasc.net.ru

Anton S. Kaliuzhny – P-G. student
The Mining Institute of Kola Scientific Center,
Russian Academy of Sciences
24 Fersman st., 184209 the Apatites,
Murmansk region, Russia
e-mail: anton26@goi.kolasc.net.ru

Daniil A. Potapov – P-G. student
The Mining Institute of Kola Scientific Center,
Russian Academy of Sciences.
24 Fersman st., 184209 the Apatites,
Murmansk region, Russia
e-mail: potapovd@goi.kolasc.net.ru

**ASSESSMENT THE STABILITY OF TWO-
LEVEL DUMPS USING "GALENA"
SOFTWARE**

Abstract:

Structure and technology of dumping of the Zhelezny mine operating dumps, "Kovdorsky GOK" JSC, are analysed.

The possibility of safety berm narrowing between the levels of rock dumps up to half of an upper level's height is studied. The stability of two-level hard rock dumps having different values of safety berms' width and levels' height was calculated employing the licensed software "Galena". The calculations showed that a construction of dumps having the safety berm which height is half of the upper level's height can be considered a stable one (over the range of varying of the upper level's height from 70m to 120 m). The possibility of unloading dump trucks over the edge of a level's slope was assessed. It was established that influence of heavy dump trucks like CAT-785C on the levels and dumps stability is negligible and doesn't violate their stability.

Keywords: open pits' design, multilevel dump, level's height, a safety berm width, dumps stability, stability coefficient.

Отвалы, формируемые при обработке месторождений полезных ископаемых открытым способом, должны быть, с одной стороны, компактны, т.к. они занимают достаточно большую площадь земельного отвода горнодобывающего предприятия, с другой стороны, устойчивы. За более чем 50 лет ведения горных работ вокруг карьера рудника «Железный» образовался целый пояс отвалов, суммарная площадь которых превышает площадь горного отвода. Стратегии развития предприятия подразумевают углубление основного и разработку нового апатит-штаффелитового карьера, что подразумевает увеличение объемов вскрыши, поэтому вопрос оценки устойчивости отвалов здесь является весьма актуальным с точки зрения экономики и безопасности.

Для размещения требуемых объемов пустых пород в границах земельного отвода предложено использовать двухъярусную конструкцию отвалов. Высота первого яруса в среднем составляет около 100–140 м, высота второго 70–100 м. Угол наклона откоса ярусов отвалов по действующему проекту составляет 35°. Ширина площадок между ярусами принята равной половине высоты вышележащего яруса.

Исходной информацией для выполнения работы по договору служит ТЭО... [1].

Физико-механические свойства отвальной массы таковы:

- плотность отвальной массы в момент отсыпки $\gamma_{от} = 2,0 \text{ т/м}^3$;
- сцепление $C_{от} = 3,3 \text{ т/м}^2$;
- угол внутреннего трения $\varphi = 30^\circ$.

Физико-механические свойства пород основания отвала по выветрелым гнейсам и фенитам следующие:

- плотность $\gamma_0 = 2,7 \text{ т/м}^3$;
- сцепление $C_0 = 11 \text{ т/м}^2$;
- угол внутреннего трения по отложениям $\varphi_0 = 28,5^\circ$.

Конструктивные параметры отвала (неизменяемые):

- угол наклона отвальных ярусов $\alpha_я = 35^\circ$.

На основе данных, принятых в ТЭО 2011 г., по моделированию отвалов 2 и 3 с конструкцией и размещением по площади при варианте бортового содержания 15%, была проведена оценка устойчивости отвалов по наиболее критическим разрезам 1–4, показанным на рис. 1.

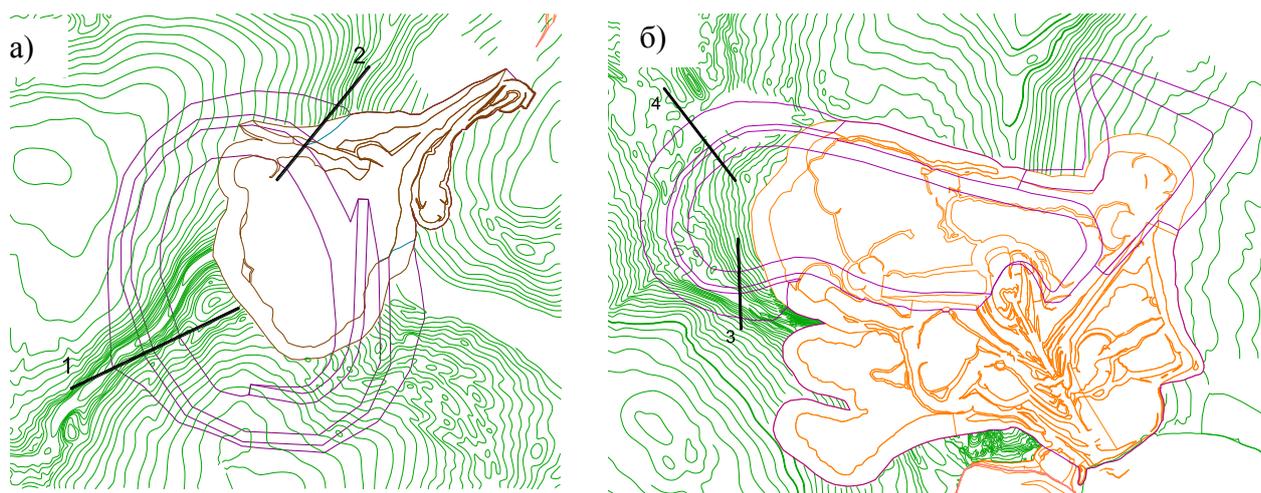


Рис. 1 – Планы отвалов ОАО «Ковдорский ГОК», соответственно, а и б

Оценка производилась с использованием лицензированного программного комплекса «Galena 6.0». Методика оценки устойчивости состояла в расчете баланса сдвигающих и удерживающих сил по автоматически выделяемой в отвальной массе наиболее напряженной поверхности [2].

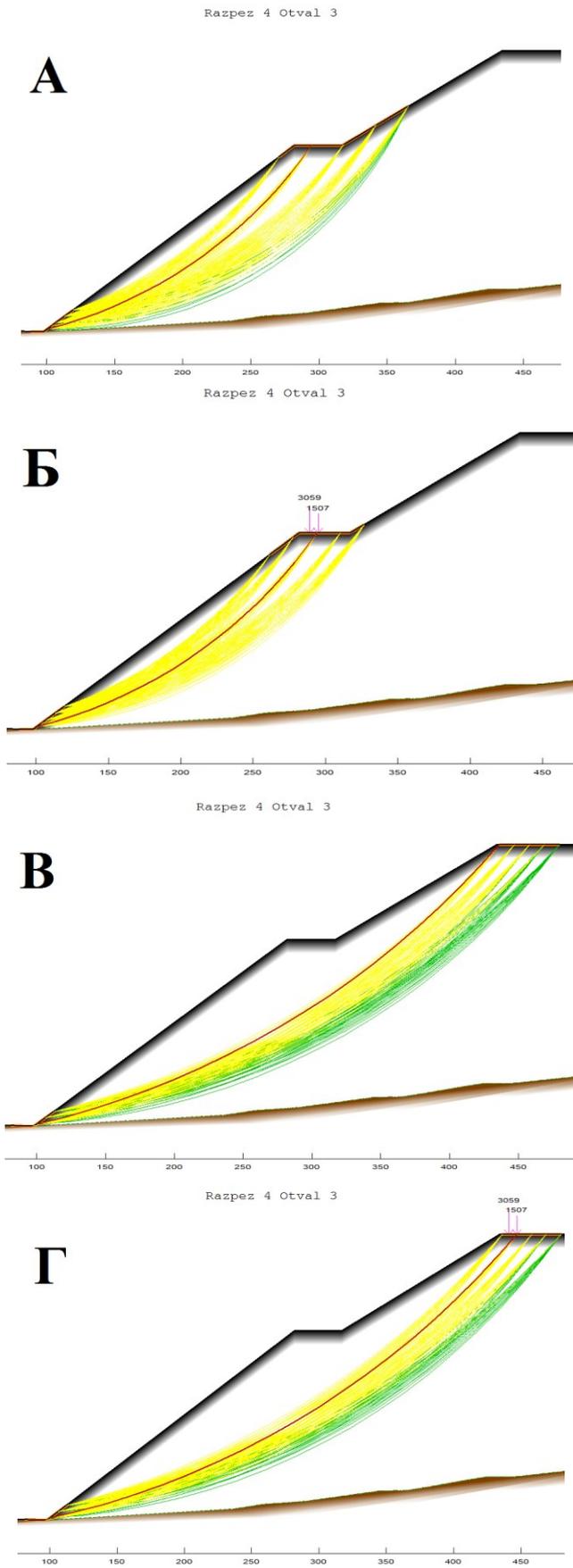


Рис. 2 – Схемы расчета устойчивости отвалов:

А – расчет устойчивости яруса; Б – расчет устойчивости яруса с самосвалом;
 В – расчет устойчивости отвала; Г – расчет устойчивости отвала с самосвалом

По четырем разрезам, показанным на рис. 1, были рассмотрены следующие варианты расчета устойчивости отвалов:

А. Расчет устойчивости яруса (рис. 2, А);

Б. Расчет устойчивости яруса при условии расположения задних колес автосамосвала САТ-785С на расстоянии 5 м от бровки уступа (66,7 % массы) и переднего колеса на расстоянии 11 м от бровки уступа (33,3 % массы) (рис. 2, Б);

В. Расчет устойчивости отвала (рис. 2, В);

Г. Расчет устойчивости отвала при условии расположения задних колес автосамосвала САТ-785С на расстоянии 5 м от бровки уступа (66,7 % массы) и переднего колеса на расстоянии 11 м от бровки уступа (33,3 % массы) (рис. 2, Г).

Результаты оценки устойчивости отвала и их анализ

В результате оценки устойчивости отвала с различными формами откоса были получены результаты, приведенные в табл. 1 и 2.

В соответствии с методическими указаниями ВНИМИ 1972 г. рекомендуемая величина коэффициента запаса устойчивости составляет $K_{з.у} \geq 1,2$ [3]. Тогда в табл. 1 при $K_{з.у} < 1$ (красный цвет) отвал является неустойчивым, при $1 \leq K_{з.у} < 1,2$ (желтый цвет) отвал является недостаточно устойчивым (находящимся в предельном состоянии), при $K_{з.у} \geq 1,2$ (зеленый цвет) отвал является устойчивым. Результаты оценки устойчивости, приведенные в табл. 1, получены на основе данных, приведенных выше.

Таблица 1

Коэффициенты запаса устойчивости ($K_{з.у}$) по разрезам 1 – 4

$\varphi = 30^\circ$	$K_{з.у.я}$	$K'_{з.у.я}$	$K_{з.у.о}$	$K'_{з.у.о}$
Разрез 1 отвала 2	1,05	1,00	1,16	1,14
Разрез 2 отвала 2	1,08	1,05	1,18	1,17
Разрез 3 отвала 3	1,16	1,11	1,22	1,20
Разрез 4 отвала 3	1,02	0,99	1,14	1,13

Примечание: $K_{з.у.я}$ – коэффициент запаса устойчивости яруса;

$K'_{з.у.я}$ – коэффициент запаса устойчивости яруса с учетом влияния самосвала;

$K_{з.у.о}$ – коэффициент запаса устойчивости отвала;

$K'_{з.у.о}$ – коэффициент запаса устойчивости отвала с учетом влияния самосвала.

Из анализа табл. 1 видно, что при сцеплении $C_{от} = 3,3 \text{ т/м}^2$ и угле внутреннего трения $\varphi = 30^\circ$ отвалы 2 и 3 по большинству рассмотренных разрезов находятся в предельном состоянии ($1 \leq K_{з.у} < 1,2$), в одном случае $K_{з.у} < 1$ (нижний ярус отвала 3 по разрезу 4 с учетом пригрузки от самосвала) и лишь в двух случаях из 16 $K_{з.у} \geq 1,2$. В целом подобную ситуацию нельзя признать устойчивой.

В то же время, проанализировав параметры реально существующих к настоящему времени отвалов на промплощадке ОАО «Ковдорский ГОК» (рис. 3), можно прийти к выводу, что их физико-механические свойства выше из-за уплотнения отвальной массы, чем те, которые были приняты в предварительных рекомендациях [1]. Оценка устойчивости уже существующих отвалов методом обратного расчета показывает, что такие параметры могут быть обеспечены при сцеплении ($C_{от} = 3,3 \text{ т/м}^2$) и угле внутреннего трения $\varphi = 35^\circ$. Применяв значение угла внутреннего трения, равное $\varphi = 35^\circ$, к оценке устойчивости отвалов на предельном контуре, получим результаты, представленные в табл. 2.



Рис. 3 – Угол естественного откоса отвала 3 ОАО «Ковдорский ГОК»

Коэффициенты запаса устойчивости по разрезам 1 – 4

$\varphi = 35^\circ$	$K_{з.у.я}$	$K'_{з.у.я}$	$K_{з.у.о}$	$K'_{з.у.о}$
Разрез 1 отвала 2	1,22	1,17	1,38	1,36
Разрез 2 отвала 2	1,27	1,24	1,41	1,40
Разрез 3 отвала 3	1,35	1,30	1,45	1,43
Разрез 4 отвала 3	1,19	1,16	1,36	1,35

Разрез 1.Отвал, сформированный двумя ярусами с промежуточной площадкой шириной 50 м, находится в предельном равновесии по нижнему ярусу и в целом устойчив.

Разрез 2.Отвал, сформированный двумя ярусами с промежуточной площадкой шириной 50 м, в целом устойчив.

Разрез 3.Отвал, сформированный двумя ярусами с промежуточной площадкой шириной 35 м, в целом устойчив. Расчетный показатель $K_{з.у}$ несколько выше показателей других разрезов, т. к. основание отвала находится в русле ручья, которое своей формой удерживает породы отвала от обрушения.

Разрез 4.Отвал, сформированный двумя ярусами с промежуточной площадкой шириной 35 м, находится в предельном равновесии по нижнему ярусу и в целом устойчив.

Основные выводы:

1. Наклон основания ($4^\circ - 6^\circ$ к горизонту) существенного влияния на коэффициент запаса устойчивости не оказывает.

2. Отвал 2 по разрезу 1 по результатам расчета устойчивости в общем можно считать устойчивым, хотя ярус отвала, при условии расположения на промежуточной площадке автосамосвала САТ-785С, находится в состоянии предельного равновесия, что не оказывает влияния на устойчивость отвала в целом.

3. Отвал 3 разделен на 2 категории по устойчивости:

- основание отвала находится над руслом реки и является в целом устойчивым;
- основание отвала находится на наклонной поверхности и по результатам расчета устойчивости отвал в общем можно считать устойчивым, хотя его ярус, при условии расположения на промежуточной площадке автосамосвала САТ-785С, находится в состоянии предельного равновесия 3, что не оказывает влияния на устойчивость отвала в целом.

4. На основании имеющихся данных и результатов расчетов конструкцию отвалов с бермой безопасности в половину высоты вышележащего яруса можно считать устойчивой (в диапазоне изменения высоты верхнего яруса от 70 до 120 м).

5. Для повышения достоверности определения устойчивости отвалов необходимо дополнительное изучение физико-механических свойств отвальной массы и их изменений во времени, а также организация системы мониторинга устойчивости отвалов.

Литература

1. Техничко-экономическое обоснование постоянных разведочных кондиций для подсчета запасов магнетитовых и апатитовых руд Ковдорского месторождения для открытой разработки: отчет о НИР / рук. А.В. Окунович. – СПб: Гипроруда, 2011.–Т. 1. – 257с.

2. Потапов Д.А. Анализ отечественных и зарубежных методов расчета устойчивости бортов карьеров в массивах скальных горных пород / Д.А. Потапов, А.С.Калужный // XVI Межрегиональная научно-практическая конференция (16-18 апреля 2013 г.). Тезисы докладов.– Апатиты: Изд. КФ ПетрГУ, 2013. - Ч. 1. – С.47.

3. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров / сост. Г.Л. Фисенко и др.;ВНИМИ. – Л.: 1972. – 165с.