

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ОБЩЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТА ПЕРВОГО БАРАНДАТСКОГО КАРЬЕРА ИТАТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Ф. П. НИФАНТОВ, В. Е. ОЛЬХОВАТЕНКО

(Представлена научным семинаром кафедры гидрогеологии и инженерной геологии)

Итатское буроугольное месторождение является одним из крупнейших в Канско-Ачинском бассейне. На его территории намечается строительство ряда крупных угольных карьеров мощностью 40—60 млн. т угля в год. В связи с этим особое значение приобретает вопрос устойчивости пород в бортах будущих карьеров. Для решения этого вопроса кафедрой гидрогеологии и инженерной геологии Томского политехнического института по договору с трестом «Кузбассуглегеология» проведены инженерно-геологические исследования на территории Первого Барандатского участка. В процессе исследований изучались инженерно-геологические свойства пород, их состав, текстурные и структурные особенности. Особенное внимание уделялось исследованию плотности и прочности пород, что необходимо для расчета устойчивости бортов проектируемых карьеров. Среднеарифметические значения прочностных характеристик и объемного веса пород Первого Барандатского участка приведены в табл. 1.

Из приведенной таблицы видно, что менее прочными являются четвертичные отложения и меловые аргиллиты. Юрские же песчаники, аргиллиты и алевролиты характеризуются близкими значениями углов внутреннего трения и сцепления.

### Выбор расчетной схемы

В настоящее время существует много расчетных схем и методов определения устойчивости склонов и откосов. Наиболее обоснованными из них являются методы В. В. Соколовского и С. С. Голушкевича [3, 10, 11]. Однако эти методы требуют громоздких вычислений и мало применяются в практике. Позднее метод В. В. Соколовского был упрощен рядом авторов [2, 5, 6], что позволяет сравнительно быстро определять форму поверхности равнопрочного откоса.

Вторую группу составляют методы проф. Н. В. Орнатского и проф. Н. М. Цимбаревича, в которых принимается плоская поверхность скольжения, что является одним из недостатков этих методов.

Среди методов расчета по круглоцилиндрической поверхности скольжения наибольшим распространением пользуются методы Фелле-ниуса и другие. Подробно методы данной группы освещены в работе Р. Р. Чугаева, который на основе их анализа предлагает свой способ расчета устойчивости откосов [15].

Для откосов, сложенных неоднородными породами, предлагается метод Л. Н. Бернацкого и видоизмененный метод Ю. К. Малюшицкого [1, 5], хотя Г. Л. Фисенко не рекомендует применять последний для глубоких карьеров (более 50—60 м); в то время как для карьеров глубиной до 50—60 м данный метод дает вполне удовлетворительные результаты.

Таблица 1

Значения прочностных характеристик пород Первого Барандатского участка

№ п. п.	Литологические типы пород	Кол-во определений	Среднеарифметические значения характеристик		
			объемный вес, $t/m^3$	угол внутреннего трения, град.	сцепление, $t/m^2$
1	Четвертичные глины	23	1,96	19	3,6
2	Четвертичные суглинки	14	1,95	22	2,1
3	Горелые породы	3	2,02	33	—
4	Меловые аргиллиты	16	2,11	24	4,8
5	Меловые алевролиты	3	2,13	31	2,75
6	Юрские аргиллиты кровли пласта	32	2,12	27	4,4
7	Юрские алевролиты кровли пласта	21	2,12	28	3,7
8	Юрские песчаники кровли пласта	22	2,03	30	3,8
9	Угли бурые	50	1,20	35	4,2
10	Юрские аргиллиты почвы пласта	25	2,10	28	2,8
11	Юрские алевролиты почвы пласта	4	2,15	26	5,5
12	Юрские песчаники почвы пласта	21	2,13	33	2,46

Самыми простыми из всех существующих методов расчета являются методы Н. Н. Маслова и М. Н. Троицкой, которые основаны на расчете углов откосов по углам сдвига. Несмотря на простоту расчетов, последние не имеют математического обоснования и применяются как предварительные.

Основным недостатком многих из перечисленных и других методов является то, что массив пород рассматривается как изотропная среда, тогда как в естественных условиях осадочные породы чаще анизотропны.

Особую группу методов составляют расчетные схемы Всесоюзного научно-исследовательского маркшейдерского института (ВНИМИ), в значительной мере учитывающие структурные особенности и анизотропию пород [9]. Отмеченные схемы разработаны применительно к различным условиям строения откоса. Так, например, по схемам I и II проводится расчет предельной высоты вертикального откоса, сложенного массивными породами, а по схемам III и IV рассчитывается устойчивость откосов относительно небольшой высоты при падении слоев и поверхностей ослабления в сторону выемки. Наиболее приемлемой для условий Барандатских карьеров Итатского месторождения, оче-

видно, окажется пятая схема, согласно которой расчет проводится при пологом или горизонтальном залегании слоев, и когда сопротивление пород сдвигу по слоистости мало отличается от сопротивления пород сдвигу по плоскостям, секущим породу под углом или нормально слоистости.

Из других методов расчета устойчивости откосов для условий Барандатских карьеров подходящим следует считать также метод многослойного откоса с использованием таблиц и графиков И. С. Мухина и А. И. Сраговича.

Ниже приводятся результаты расчета общей устойчивости откоса рабочего борта будущего карьера выбранными методами для глубины 140 м по 71, 100 и 109 разведочным линиям, при условии полного предварительного осушения пород в бортах и откосах будущего карьера.

В качестве исходных характеристик взяты среднеарифметические значения объемного веса, угла внутреннего трения и сцепления пород (табл. 1). Последние, как показали результаты исследований, незначительно отличаются от гарантированных минимальных значений, что дает основание применять их в качестве расчетных на данной стадии исследований.

### Расчет общей устойчивости борта намечаемого карьера

Согласно пятой расчетной схеме ВНИМИ, при расчете общей устойчивости бортов карьеров, сложенных пологопадающими слоями в сторону массива, поверхность скольжения пойдет в верхней части под углом к наслоению, а в нижней части по наслоению пород [9].

Величина структурного ослабления пород при расчетах бортов карьеров обычно определяется возможным снижением значения сцепления породы в массиве по формуле:

$$K_m = \frac{K_0}{1 + \alpha \ln(H/l)},$$

где  $K_m$  — сцепление породы в массиве, т/м<sup>2</sup>;

$K_0$  — сцепление монолитного образца породы, т/м<sup>2</sup>;

$H$  — общая высота борта, м;

$l$  — линейный размер блоков пород, ограниченных трещинами;

$\alpha$  — коэффициент, зависящий от характера трещиноватости пород.

Для исследованных пород, имеющих сцепление ( $K_0$ ) меньше 4 кг/см<sup>2</sup>, согласно данным ВНИМИ значение  $\alpha$  можно принять равным нулю [9]. Исходя из этого и согласно приведенной выше формуле, сцепление породы в массиве принимается равным сцеплению породы в куске, а коэффициент структурного ослабления — равным единице.

Учитывая данное условие и этап исследований, при расчетах будем пользоваться средневзвешенными значениями расчетных характеристик по всей глубине будущего карьера, приведенными в табл. 2.

Принимая данные табл. 2 и коэффициент запаса устойчивости, равным 1,3, получаем окончательные расчетные значения угла внутреннего трения и сцепления пород (табл. 3), по которым и проведены расчеты по пятой схеме ВНИМИ.

Предельная высота вертикального откоса подсчитывается по формуле:

$$H_{90} = \frac{2c_p}{\gamma} \cdot \operatorname{ctg} \left( 45 - \frac{\varphi_p}{2} \right),$$

где  $H_{90}$  — предельная высота вертикального откоса, м;

$c_p$  — расчетное значение сцепления, т/м<sup>2</sup>;

$\gamma$  — средневзвешенное значение объемного веса, т/м<sup>3</sup>;

$\varphi_p$  — расчетное значение угла внутреннего трения в градусах.

Подставив расчетные характеристики в вышеприведенную формулу, получаем значение  $H_{90}$ , равное по линии 71—5,72 м, 100—5,2 м и 109—5,8 м.

Таблица 2

№ п. п.	Характеристика пород	Линия 71	Линия 100	Линия 109
1	Глубина карьера, м	140	140	140
2	Объемный вес массива пород и угля, т/м <sup>3</sup>	1,61	1,70	1,70
3	Угол внутреннего трения массива пород и угля, градусы	31	30	31
4	Сцепление массива пород и углей, т/м <sup>2</sup>	4,0	3,9	4,2

Таблица 3

№ п. п.	Расчетные характеристики	Линия 71	Линия 100	Линия 109
1	Угол внутреннего трения в градусах	24	23	24
2	Сцепление $c$ , т/м <sup>2</sup>	3,0	3,0	3,2

Используя график зависимости угла наклона борта от глубины (рис. 1), предложенный ВНИМИ, определяем масштаб графика и через него выражаем заданную высоту откоса. Затем по графику определяется угол наклона борта при данном расчетном угле внутреннего трения и заданной высоте откоса. Далее проводится графическое построение откоса и проверочные расчеты, которые сводятся к отысканию предельной высоты устойчивого откоса при заданном угле наклона и расчетных значениях  $\varphi$  и  $c$ . Проведя расчет для различных глубин, строится график зависимости угла наклона борта от высоты. Результаты расчетов приведены в табл. 4, из которой видно, что общий угол наклона борта при глубине карьера 140 м и коэффициенте запаса 1,3 составляет 29—31°.

Расчеты по методу многослойного откоса с использованием графиков и таблиц И. С. Мухина и А. И. Сраговича [6] сводятся к следующему. Массив горных пород разбивается на ряд расчетных слоев, для которых определяются расчетные значения угла внутреннего трения и сцепления. Далее для каждого слоя подсчитывается средний объемный вес породы с учетом вышележащих пород. Затем, пользуясь графиком для определения координат равнопрочных откосов (рис. 2), по заданному значению  $x$  и углу внутреннего трения находим  $y$  и производим пересчет координат на реальные условия по формулам:

$$x = \frac{c}{\gamma} \cdot \bar{x}; \quad y = \frac{c}{\gamma} \cdot y,$$

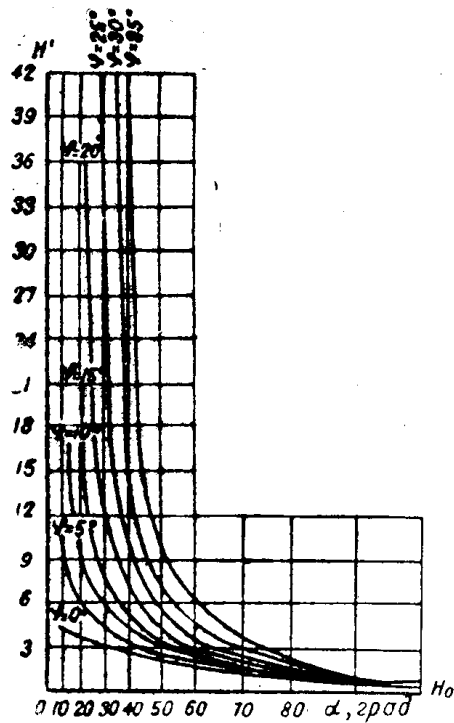


Рис. 1. Вспомогательный график для расчетов устойчивости откосов, сложенных однородными породами (составлен Г. Л. Фисенко)

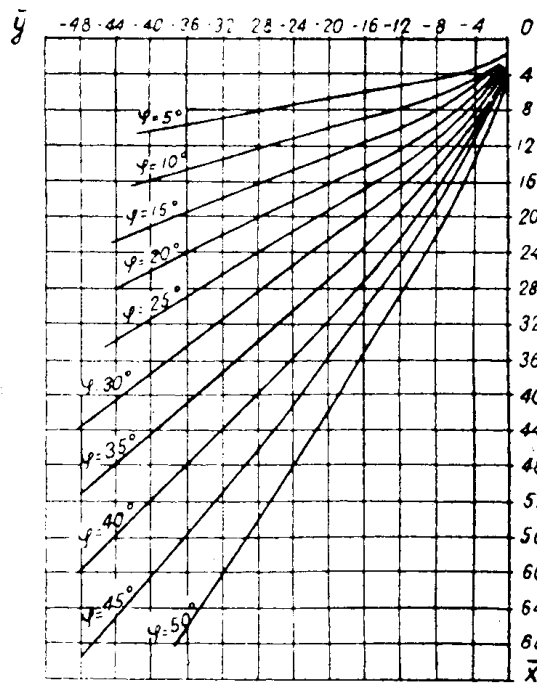


Рис. 2. Формы равнопрочных откосов в предельно напряженных однородных массивах при  $\gamma = 1$ ,  $c = 1$  и различных значениях  $\varphi$  (по И. С. Мухину и А. И. Сраговичу)

Расчетные показатели и результаты расчета устойчивости борта Первого Барандатского карьера

№ п. л.	Название пород	Глубина залегания пород, м	Объемный вес $t/m^3$	Угол внутреннего трения, град	Сцепление, $t/m^2$	Угол наклона борта в градусах		
						по пятой схеме ВНИИМИ	при коэффициенте запаса 1,3	методом многослойного откоса
						в предельно напряженном состоянии	при коэффициенте запаса 1,3	при коэффициенте запаса 1,3

## Участок Барандатский 1

1	Четвертичные глины	0—8	1,96	19	3,6	38—40	29—31	53—56	40—43
2	Четвертичные суглинки	0—7	1,95	22	2,1	40	30	51	39
3	Меловые аргиллиты и алевролиты	8—17 8—40	2,11	24	4,8	38—40	29—31	32—36 34	24—27 26
4	Юрские алевролиты	17—36 45—56 70—78	2,12	28	3,7	38—40	29—31	37—38 35 31	28—29 27 24
5	Юрские аргиллиты	21—61 73—78	2,12	27	4,4	38—40	29—31	33—34 34	25—26 26
6	Юрские песчаники	25—30 36—45 40—73	2,03	30	3,8	38—40	29—31	41 39	31 30
7	уголь бурый	70—140	1,20	35	4,2	38—40	29—31	36—38 42—43	27—29 32—33

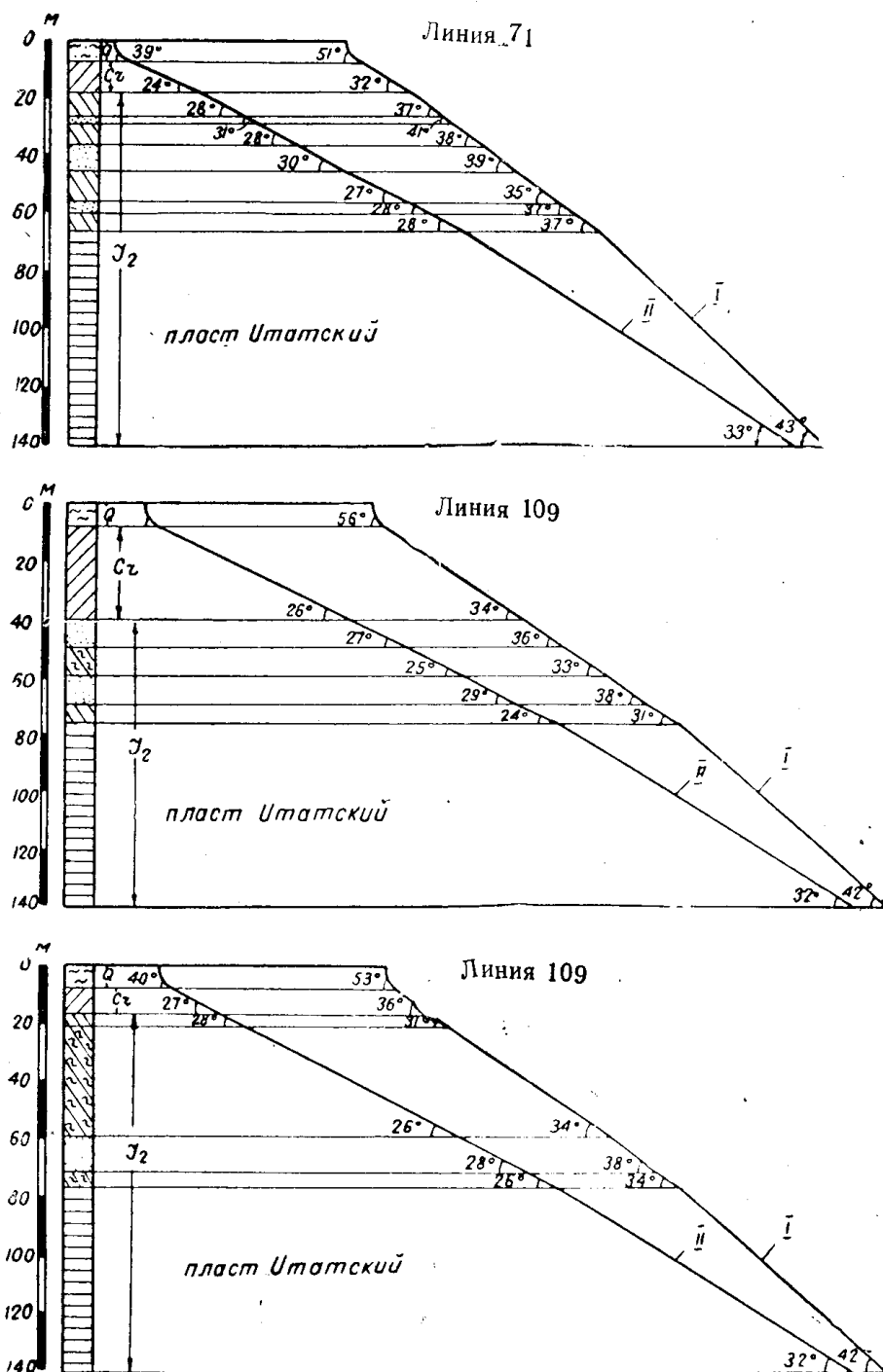


Рис 3

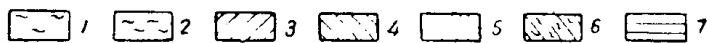


Рис. 3. Результаты расчета по методу многослойного откоса.

I — кривая устойчивого откоса при коэффициенте запаса  $n = 1,0$ ; II — кривая устойчивого откоса при коэффициенте запаса  $n = 1,3$ ; 1 — суглинки; 2 — глины; 3 — меловые аргиллиты; 4 — юрские алевролиты; 5 — юрские песчаники; 6 — юрские аргиллиты; 7 — уголь бурый

где  $x$  и  $y$  — координаты для построения форм равнопрочных откосов;  
 $c$  — сцепление пород,  $\text{т/м}^2$ ;  
 $\gamma$  — объемный вес пород,  $\text{т/м}^3$ .

Результаты расчетов показаны на рис. 3 и приведены в табл. 4. Из таблицы видно, что углы наклона борта, полученные данным методом при коэффициенте запаса устойчивости 1, 3, составляют: для четвертичных глин  $40\text{—}43^\circ$ , четвертичных суглинков  $39^\circ$ , меловых аргиллитов и алевролитов  $24\text{—}27^\circ$ , юрских алевролитов  $24\text{—}29^\circ$ , юрских аргиллитов  $25\text{—}26^\circ$ , юрских песчаников  $27\text{—}31^\circ$ , бурых углей  $32\text{—}33^\circ$ . Для многих типов пород вскрышной толщи углы откоса, вычисленные тем и другим методом, оказались близкими. Исключение составляют углы, полученные для четвертичной толщи и неглубоко залегающих юрских аргиллитов, где расхождения оказались значительными (табл. 4).

Высокие углы откоса для четвертичной толщи ( $39\text{—}43^\circ$ ), полученные методом многослойного откоса, очевидно, нужно считать маловероятными. Поэтому в процессе проектирования карьера для этих отложений и выветрелой зоны юрских и меловых пород угол общего откоса борта следует принимать не выше  $30^\circ$ , как это получено по расчетной схеме ВНИМИ.

В период детальных исследований и расчетов на стадии разработки проектного задания и рабочих чертежей карьера особое внимание необходимо уделить изучению свойств ослабленных пород, в частности илов и прослоев углистых аргиллитов, выяснить степень изменчивости прочностных характеристик в бортах карьеров и провести более полные расчеты устойчивости бортов с учетом действия всех природных и горнотехнических условий, влияющих на устойчивость пород в бортах и уступах карьера.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Н. Бернацкий. Условия устойчивости земляных масс. Трансиздат, 1925.
2. Н. И. Голованов. Устойчивость откосов земляных сооружений по теории предельного равновесия. Сборник трудов ИГДА УССР, № 4 (13), 1956.
3. С. С. Голушкевич. Плоская задача теории предельного равновесия сыпучей среды. Гостехиздат, 1948.
4. П. И. Кожевников. О расчетах откосов на устойчивость. Сборник статей Главшахтопроекта-Центрогипрошахта МУП СССР. Открытая разработка угольных месторождений. Углетехиздат, 1955.
5. Ю. Н. Малющицкий. Условия устойчивости бортов карьеров. Киев, 1957.
6. И. С. Мухин, А. И. Срагович. Построение предельных контуров равноустойчивых откосов. Академиздат, 1954.
7. М. Л. Рудаков, А. П. Ли. Физико-механические свойства горных пород и углы наклона бортов некоторых карьеров Казахстана. Труды ПГИ, УФАН СССР, вып. 57, 1961.
8. М. Л. Рудаков, И. И. Попов, А. П. Ли. Предупреждение оползней на карьерах. Госгортехиздат, 1960.
9. Руководство по определению оптимальных углов наклона бортов карьеров и откосов отвалов. Издательство ВНИМИ, 1962.
10. В. В. Соколовский. Плоское предельное равновесие горных пород. Известия АН СССР, отд. тех. наук, № 9, 1948.
11. В. В. Соколовский. Статика сыпучей среды. Академиздат, 1942.
12. Г. Л. Фисенко. Определение углов заоткоски бортов Коркинских угольных карьеров, Углетехиздат, 1953.
13. Г. Л. Фисенко. Устойчивость бортов угольных карьеров. Углетехиздат, 1956.
14. Н. М. Цимбаревич. Механика горных пород. Углетехиздат, 1948.
15. Р. Р. Чугаев. Расчет устойчивости земляных откосов и бетонных плотин на нескальном основании по методу круглоцилиндрических поверхностей. Госэнергониздат, 1963.