



## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА УСТОЙЧИВОСТЬ МАССИВОВ

О.А. Хасанов<sup>1</sup>,

М.К. Шамаев<sup>2</sup>,

Б.А. Гаибназаров<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Декан факультета «Горное дело» Алмалыкского филиала  
Ташкентского государственного технического университета  
имени Ислама Каримова, д.ф.т.н., (PhD), г. Алмалык, Узбекистан,

<sup>2</sup>Заведующий кафедры «Горное дело» Алмалыкского филиала  
Ташкентского государственного технического университета  
имени Ислама Каримова, г. Алмалык, Узбекистан,

<sup>3</sup>Старший преподаватель кафедры «Горное дело» Алмалыкского  
филиала Ташкентского государственного технического  
университета имени Ислама Каримова, г. Алмалык, Узбекистан.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7540515>

### ARTICLE INFO

Received: 08<sup>th</sup> January 2023

Accepted: 14<sup>th</sup> January 2023

Online: 16<sup>th</sup> January 2023

### KEY WORDS

Устойчивость, трения,  
фильтрация, угол откоса,  
уровень,  
фильтрационный поток,  
порода, твердое состояние,  
динамика грунтовых вод,  
запас прочности, керновые  
пробы, физико-механический  
анализ, гидрогеологическая  
изыскания.

### ABSTRACT

В статье рассказывается влияние грунтовых вод на устойчивость массивов. Про результатах действия фильтрационной деформации и какие могут быть изменение с влиянием фильтрационного потока в твердой фазе, в механических свойствах массивов. Какую задачу приходится решать чтобы учесть влияние грунтовых вод на напряженно-деформированное состояние массива горных пород. В статье указывается что для правильного описания динамики грунтовых вод необходимо знание фильтрационных параметров массива. Приводиться что в расчетах ан устойчивость бортов карьера, без влияния грунтовых вод, необходимо вводить поравочный коэффициент за влажность грунтов.

Рассмотрим конкретные примеры с целью иллюстрации влияния подземных вод на устойчивость массивов.

1. Расчет устойчивости фильтрующего песчаного откоса произведен при следующих исходных данных: угол откоса  $24^{\circ}$ , высота массива  $H_m=60$  м, удельный вес песка  $\gamma=2,66$  т/м<sup>3</sup>, удельный вес воды  $\gamma=1$  т/м<sup>3</sup>, пористость  $m=0,35$ , угол внутреннего трения в песках над водой  $33^{\circ}$ , под водой  $30^{\circ}$ , коэффициент сцепления равен нулю (рис. 1).

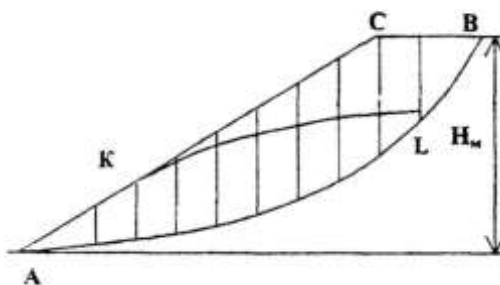




Рис. 1. Схема к расчету коэффициента запаса прочности откоса

В качестве потенциальной поверхности скольжения взята кривая  $AB$ . Призма возможного оползания, расположенная над потенциальной поверхностью скольжения, вертикальными линиями разделена на 10 блоков.  $\tau_i$  - объем  $i$ -го блока,  $\tau'$  - часть объема  $i$ -го блока, расположенная под свободной поверхностью  $KL$ . В табл. 1 даны значения  $\tau_i$ ,  $\tau'_i$ ,  $\alpha_i$ .

Таблица 1

Исходные данные для расчета устойчивости откоса

№ блока	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\tau$ (м <sup>3</sup> )	193	465	510	560	435	375	315	225	150	55
$\tau'$ (м <sup>3</sup> )	0	83	185	300	285	283	270	210	150	55
$\alpha$ (град)	62	36	22	7	12	8	7	5	2	1
$I_x$	–	0,10	0,10	0,15	0,20	0,20	0,27	0,35	0,35	0,35

Вертикальной составляющей градиента напора пренебрегли ввиду ее малости.

Коэффициент устойчивости откоса  $\eta_{уст}$  определяется по формуле

$$\eta_{уст} = \frac{\sum_{i=1}^n [(N_i \operatorname{tg} \varphi_i + C_i L_i)]}{\sum_{i=1}^n T_i} \quad (1)$$

с учетом сил взвешивания и фильтрационного давления. Определены также следующие обозначения коэффициентов устойчивости  $\eta_a$ ,  $\eta_b$ ,  $\eta_v$ :

- а) без учета фильтрационного давления ( $I_x=I_z=0$ );
- б) без учета фильтрационных сил и эффекта взвешивания (сухая порода);
- в) по формуле, встречаемой в различных литературных источниках:

$$\eta_{уст} = \frac{\sum_{i=1}^n [(P_i \cos \alpha_i - p_i L_i) \operatorname{tg} \varphi_i + C_i L_i]}{\sum_{i=1}^n P_i \sin \alpha_i} \quad (2)$$

где  $P_i$  – вес блока вместе с заключенной в нем водой;

$L_i$  – длина  $i$ -го участка кривой;

$p_i$  – среднее давление в пределах  $L_i$ .

Наиболее точно значение коэффициента устойчивости откоса определяется по формуле (1). Приняв его за 100%, определим в процентах значения  $\eta_a$ ,  $\eta_b$ ,  $\eta_v$  и их отклонения от  $\eta_{уст}$  (табл. 2).

Результаты расчета устойчивости откоса Таблица 2

Значение		Погрешность, %
Численное	%	
$\eta_{уст} = 1,47$	100%	0
$\eta_a = 1,61$	109%	9%
$\eta_b = 1,95$	133%	33%
$\eta_v = 1,24$	84%	-16%

Как следует из приведенных данных, значение коэффициента устойчивости, определенное без учета действия подземных вод, оказывается завышенным. Игнорирование фильтрационных сил меняет  $\eta_{уст}$  на 9 %, эффект взвешивания повлиял в большей степени, погрешность 24%.

Значение  $\eta_v$  казалось сильно заниженным. Это неудивительно, т.к. здесь преувеличено влияние порового давления на эффективное напряжение.

2. Определяется коэффициент устойчивости скального массива. В массиве имеются две системы трещин с разными углами падения, определяющие основные плоскости ослабления. Потенциальная поверхность скольжения взята вдоль этих систем трещин (рис. 2, ломаная ABC). Угол откоса принят равным 35,  $H_m=235$  м,  $m=0,1$ ,  $\gamma_c=2,65$  т/м<sup>3</sup>,  $\gamma=1$  кг/м<sup>3</sup>,  $\varphi=35$ ,  $C=10$  т/м<sup>2</sup>.

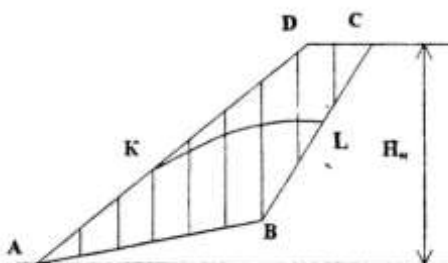


Рис. 2. Схема к расчету коэффициента запаса прочности скального массива

Коэффициенты устойчивости определялись по тем же формулам, что и в предыдущем примере. Данные расчета приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчета устойчивости скального откоса

Значение		Погрешность, %
Численное	%	
$\eta_{ycm} = 1,155$	100%	0
$\eta_a = 1,162$	100,6%	0,6%
$\eta_b = 1,266$	109,6%	9%
$\eta_c = 0,967$	83,7%	-16,3%

Как и в предыдущем примере, формула (2) (это то же самое, что и формула,

$$\eta_{уст} = \frac{\sum_{i=1}^n [(N_{i''} - \Phi_i) \operatorname{tg} \varphi_i + C_i L_i]}{\sum_{i=1}^n T_i} \quad (3)$$

но записанная в измененных обозначениях) дает заниженное значение коэффициента запаса прочности. Причем здесь значение  $\sigma_{ев}$  меньше единицы, что говорит о неустойчивости откоса. Согласно же подсчету по формуле (1) массив обладает некоторым запасом прочности.

Таким образом, анализ влияния грунтовых вод на устойчивость горных массивов, выполненный на основе строгих математических расчетов, позволяет сделать следующие основные выводы.

1. Влияние грунтовых вод на устойчивость массивов очевидно и не вызывает никаких сомнений. В литературе описано немало случаев, когда фильтрационные деформации приводили к катастрофам различного масштаба.

2. Влияние фильтрационного потока на скелет горных пород изменяет напряжение в твердой фазе, ее механические свойства и может быть оценено не только качественно, но и количественно.

3. Для того, чтобы учесть влияние грунтовых вод на напряженно-деформированное состояние массива горных пород, необходимо предварительно решить фильтрационную задачу, т.е. найти распределение напоров в потоке грунтовых вод, положение свободной поверхности, поле вектора скорости.



4. Для правильной постановки фильтрационной задачи необходимо знать строение исследуемого массива и физико-механические свойства всех слоев, его составляющих. Для решения задачи устойчивости массива недостаточно иметь осредненные значения параметров для всего массива, следует иметь данные о каждом слое в отдельности, потому что при изменении влажности этих слоев и нагрузки на них они могут существенно изменить свои свойства. Например, некоторые породы из твердого состояния могут перейти в пластическое и даже текучее. Это, естественно, меняет значение коэффициента запаса прочности, что обязательно должно быть учтено в расчетной части решаемой задачи.

Если массив сложен скальными породами, то должны быть известны данные о его трещиноватости и о свойствах заполнителей трещин. Во время обильных осадков может резко подняться уровень грунтовых вод, что приведет к усилению эффекта взвешивания и ослаблению устойчивости горных пород, что также должно быть учтено в расчетных алгоритмах.

Данные, полученные с помощью гидрогеологической разведки пласта должны дать представление об условиях питания и стока подземных вод. Этих данных должно быть достаточно для построения математической модели, адекватно отражающей реальный поток.

Для правильного описания динамики грунтовых вод необходимо знание фильтрационных параметров массива. Их можно определить в лабораторных условиях с помощью физико-механического анализа горных пород, например, по исследованию керновых проб, а также путем решения обратных задач для дифференциальных уравнений, моделирующих процесс фильтрации. Для решения обратных задач нужна информация, получаемая с помощью проведения гидрогеологических изысканий, например, проведения экспериментальных откачек.

5. В имеющейся литературе, насколько известно, вопросы влияния грунтовых вод на устойчивость откосов рассмотрены недостаточно полно, в силу чего затруднено адекватное отражение реальности, а в некоторых случаях известные и используемые на практике результаты требуют соответствующей корректировки.

6. В расчетах на устойчивость бортов карьера, проводимых без учета влияния грунтовых вод, необходимо вводить поправочный коэффициент за влажность грунтов  $K$ , который для песчаных пород находится в диапазоне  $K=0,05...0,35$ .

Для скальных пород диапазон вариаций коэффициента  $K$  сужается и может быть рекомендован в интервале  $K=0,05...0,15$ .

## References:

1. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. – М.: Недра, 1995. – С. 126-131.
2. Лангефорс У., Кильстрем Б. Современная техника взрывной отбойки горных пород. Пер. с англ. – М.: Недра, 1968. – 227 с.
3. Репин Н.Я., Богатырев В.П., Буткин В.Д. и др. Буровзрывные работы на угольных разрезах. – М.: Недра, 1987. – 254 с.
4. Тангаев И.А. Буримость и взрываемость горных пород. – М.: Недра, 1978. 184 с.