

А.Г.ПРОТОСЕНЯ, д-р техн. наук, профессор, (812) 328-82-25,

А.В.ЧЕБАКОВ, аспирант, an_86@list.ru

Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

A.G.PROTOSENYA, Dr. in eng. sc., professor, (812) 328-82-25

A.V.CHEBAKOV, post-graduate, an_86@list.ru

Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)

ВЛИЯНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ДЕФОРМИРОВАНИЕ БОРТОВ КАРЬЕРА

Борта глубоких карьеров представляют собой сложные инженерные сооружения, от состояния которых зависит безопасность горных работ. По мере углубки и вскрытия новых горизонтов при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом в результате длительного процесса в прибортовом массиве карьеров происходят изменения природных напряжений, и накапливаются усталостные напряжения, которые приводят к деформациям бортов, заканчивающихся в отдельных случаях катастрофическими обрушениями и оползнями.

Предотвращение опасных разрушающих деформаций прибортовых массивов во многом зависит от достоверной оценки развивающихся деформаций.

Ключевые слова: борт карьера, моделирование, метод конечных элементов, деформации.

INFLUENCE OF ACTION OF UNDERGROUND WATERS ON DEFORMATION OF THE OPEN PIT EDGES

Side deep pits are complex engineering structures, which depend on the state of mine safety. As bating and opening new horizons in the development of mineral deposits open as a result of long-term at the edge array of pits are changing the natural stress and accumulated fatigue, which leads to deformation of the sides, ending in some cases, catastrophic collapses and landslides.

Prevention of dangerous destructive strains edge arrays depends on reliable assessment of emerging strains.

Key words: open pit edges, modeling, finite element method, deformation.

На устойчивость бортов карьеров влияет ряд факторов, которые можно разделить на четыре группы [2]: инженерно-геологические, гидрогеологические, физико-географические, горнотехнические.

Задача исследований состояла в определении влияния инженерно-геологических и гидрогеологических условий залегания месторождения на схему деформирования прибортового массива карьера. Полученные результаты представлены ниже.

Для месторождений с горизонтальным залеганием геологических разностей расчет устойчивости бортов карьеров инженерными

методами осуществляется как расчет однородного откоса со средневзвешенными значениями физико-механических свойств горных пород [1], которые определяются:

$$\varphi = \frac{\sum_{i=1}^n l_i \varphi_i}{\sum_{i=1}^n l_i}, \quad C = \frac{\sum_{i=1}^n l_i C_i}{\sum_{i=1}^n l_i}, \quad \gamma = \frac{\sum_{i=1}^n l_i \gamma_i}{\sum_{i=1}^n l_i}, \quad (1)$$

где l_i – мощность слоя; φ_i , C_i , γ_i – угол внутреннего трения, сцепление, объемный вес породы для данного слоя соответственно.

Действие грунтовых вод на состояние склона проявляется различными путями.

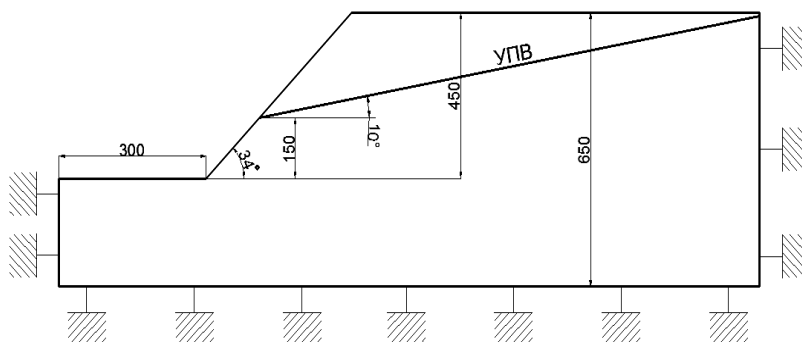


Рис. 1. Расчетная схема модели

Вода оказывает взвешивающее действие на слагающие борта карьера породы, изменяя силы гравитации. Насыщая, вода изменяет физико-механические свойства пород массива, в частности сдвиговые характеристики. При этом вода, взвешивая грунтовый скелет, снижает за счет порового давления нормальные напряжения в плоскости сдвига и может привести к почти полному снятию внутреннего трения в грунте [1].

Важным фактором является также проявление гидродинамического (фильтрационного) давления грунтовых вод. Как известно, фильтрационное давление создается во всех случаях движения подземных вод [3]. Где есть градиент, где наблюдается уклон поверхности свободного подземного потока или линии пьезометрического уровня для напорных вод, там есть падение напора. Падение напора вызывается преодолением сопротивления течению воды в грунте. Это сопротивление в виде реакции и создает фильтрационное давление.

Физический смысл метода взвешивания заключается в том, что напор грунтовых вод способен оказать на покровную толщу пород взвешивающее противодействие и тем самым снизить действующее в контактной зоне силы сопротивления сдвигу за счет снижения сил трения. Вместе с тем в этих условиях возникает возможность дополнительного водонасыщения грунтов и снижения сопротивляемости их сдвигу. Сдвигающее усилие в этом случае останется без изменения, так как силы гравитации сохраняются прежней величины (имеется водонасыщение не по всей высоте грунтовой толщи).

Уравнение, полученное Г.Л.Фисенко [4], которое учитывает гидростатическое взвешивание и гидродинамическое давление, имеет следующий вид:

$$n = \frac{\sum \operatorname{tg} \varphi_i (N_i - l_i D_i) + \sum C_i l_i}{\sum T_i}, \quad (2)$$

где n – коэффициент запаса устойчивости; φ_i – угол внутреннего трения; C_i – сцепление; N_i – нормальная составляющая веса элементарных блоков породы без учета гидростатического взвешивания; T_i – касательная составляющая веса элементарных блоков породы без учета гидростатического взвешивания; l_i – длина наклонного основания блоков; D_i – величина гидростатического давления в середине основания блоков.

При численном моделировании одного из месторождений Севера, на основе метода конечных элементов, разработана модель, учитывающая гидростатическую и гидродинамическую составляющие при учете влияния воды на устойчивость прибортового массива. Влияние воды на физико-механические свойства пород уже учтены на стадии лабораторных испытаний, так как при испытаниях исследуемый керн имел естественную влажность.

Расчетная схема модели представлена на рис.1. Физико-механические свойства представлены в таблице.

Целью исследований было изучение влияния действия подземных вод на устойчивость бортов карьера и на деформируемость прибортового массива.

Основным критерием оценки устойчивости бортов карьеров является коэффици-

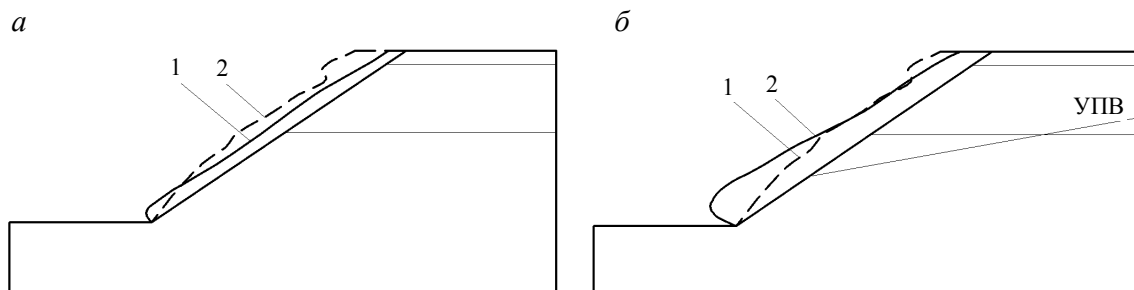


Рис.2. Распределение горизонтальных деформаций по линии откоса (на предельном состоянии):
 а – с учетом влияния слоистости: 1 – для однородного массива; 2 – для слоистого массива; б – с учетом влияния подземных вод: 1 – для слоистого массива без учета подземных вод; 2 – для слоистого массива с учетом подземных вод; УГВ – уровень подземных вод

ент запаса устойчивости. При численном моделировании на основе метода конечных элементов были получены следующие коэффициенты запаса устойчивости: для прибортового массива без влияния подземных вод – 1,52, а для модели, учитывающей подземные воды – 1,17, что на 23 % меньше, чем для сухого борта.

Физико-механические свойства горных пород месторождения Севера

Слой	Мощность, м	Плотность ρ , кг/м ³	Угол внутреннего трения φ , град.	Сцепление C , МПа	Модуль деформации E , МПа	Коэффициент Пуассона ν
Поверхностный	66	2136	29,5	0,054	130	0,22
Падунская свита	180	2147	36,8	0,14	530	0,26
Мезенская свита	210	2290	39,1	0,175	2180	0,17

В процессе моделирования особое внимание уделялось деформациям прибортового массива. Ниже представлены схемы зависимости распределения смещений по линии откоса для сухого и обводненного бортов карьера (рис.2).

Из рис.2, а, на котором представлены схемы деформирования однородного и слоистого прибортовых массивов, можно сделать следующие заключения:

– в однородном массиве по линии откоса происходит выпирание борта карьера в сторону отработанного пространства; максимальные значения горизонтальных смещений приурочены к месту концентрации максимальных относительных горизонтальных деформаций и на расстоянии 0,2 Н от дна карьера (на пересечении линии откоса и поверхности скольжения);

– в слоистом откосе также происходит выпирание массива в сторону отработанного пространства; максимальные значения горизонтальных смещений расположены на стыке геологических слоев – на расстоянии 66 и 245 м от линии поверхности;

– при моделировании исходные данные об инженерно-геологических условиях месторождения существенно влияют на результат деформирования прибортового массива, более полный учет информации о структуре залегания месторождения позволит приблизить результаты моделирования конечными элементами к натурным.

Влияние действия подземных вод также оказывает влияние на характер деформирования борта карьера. На рис.2, б представлено распределение горизонтальных деформаций по линии откоса для сухого и обводненного слоистого массива. Из полученных результатов вытекают следующие выводы:

– гидродинамическое давление воды способствует выпиранию прибортового массива в сторону отработанного пространства за счет разности напоров по боковые стороны исследуемой модели борта карьера;

– максимальные горизонтальные смещения расположены на высоте высачивания, т.е. образуется выпирание массива по линии откоса на расстоянии 150 м от дна карьера;

– при оценке характера деформирования борта карьера необходимо учитывать гидрогеологию месторождения (особенно для слабых пород), а именно гидростатическое взвешивание и гидродинамическое давление воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гольдштейн М.Н. Исследования устойчивости оползневых масс и способы ее повышения // Борьба с оползнями, обвалами и размывами на железной дороге Кавказа. М., 1961.

2. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах. ВНИМИ. СПб, 1998.

3. Рекомендации по выбору методов расчета коэффициента устойчивости склона и оползневого давления // Центральное бюро научно-технической информации. М., 1986.

4. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. М.: Недра, 1965.

REFERENCES

1. Goldstein M.N. Studying the stability of landslide masses and ways to improve it. In Sat: Fighting landslides, rockslides and washouts on the railroad Caucasus. Moscow, 1961.

2. Rules on the stability of slopes in opencast. Saint Petersburg, 1998. 208 p.

3. Recommendations on the choice methods for calculating the coefficient of slope stability and landslide pressure // Central Bureau of Scientific and Technical Information. Moscow, 1986.

4. Fisenko G.L. Stability of the pit and waste dumps. Moscow: Nedra, 1965.