

А.В.ЧЕБАКОВ, аспирант, *an_86@list.ru*

Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

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

Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)

МЕТОД РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ

При разработке месторождений открытым способом по мере углубки и вскрытия новых горизонтов в результате длительности происходящего процесса в приобортовом массиве карьеров накапливаются усталостные напряжения, что приводит к деформации откосов в виде осыпей, обрушений, заколов, а в некоторых случаях оползней крупного масштаба. Если учесть, что борта глубоких карьеров представляют собой сложные инженерные сооружения, от состояния которых зависят эффективность и безопасность горных работ, то обеспечение их устойчивости является весьма актуальной задачей.

Ключевые слова: устойчивость бортов карьера, смещение, деформации.

METHOD OF CALCULATION STABILITY OF THE OPEN PIT EDGES

During the opencast mining operations with bating and opening-up of new horizons as a result of the process duration in the near-edge rock mass, fatigue accumulates, which leads to slope deformations in the form of slide rocks, rock falls, roof breaks, and, in some cases, large-scale landslides. Given that the open pit edges are complex engineering structures, on the state of which mining operations effectiveness and safety depend, their stability control is a very urgent problem.

Key words: stability of the open pit edges, displacement, deformation.

Решение проблемы устойчивости бортов карьеров в нашей стране проходило поэтапно. На первом этапе до середины 50-х годов устойчивость бортов по существу определялась качественными характеристиками горного массива. Второй этап относится к концу 50-х началу 60-х годов и связан с такими именами как С.И.Попов, Г.Л.Фисенко, Ю.Н.Малошицкий и др.

В это время борт уже рассматривается как геотехническое сооружение, параметры которого можно рассчитать, используя физико-механические характеристики массива. Можно считать, что на этом этапе заложены основы для нового направления науки – механики горных пород при открытых разработках.

Третий этап характеризуется становлением механики горных пород при открытых разработках как самостоятельного направления науки, имеющего определенные цели и установившиеся методы исследований. Организуются лаборатории и группы исследований во ВНИМИ во главе с Г.Л.Фисенко, в Унипромеди – с Ю.И.Туринцевым, в СГИ – с В.В.Камшиловым, Н.Д.Иплолитовым, в КПИ – с М.П.Рудаковым, И.И.Поповым, в ИГД МЧМ – с В.Г.Зотеевым, в ИГД им. Скопинского – с А.М.Деминим, в ВИОГЕМе – с А.И.Ильиным, в ГИГХе – с М.Е.Певзнером, в Укрниипроекте – с Н.Н.Куваевым и др. [2].

На сегодняшний день геомеханическими расчетами можно определить степень устойчивости карьерных откосов или их

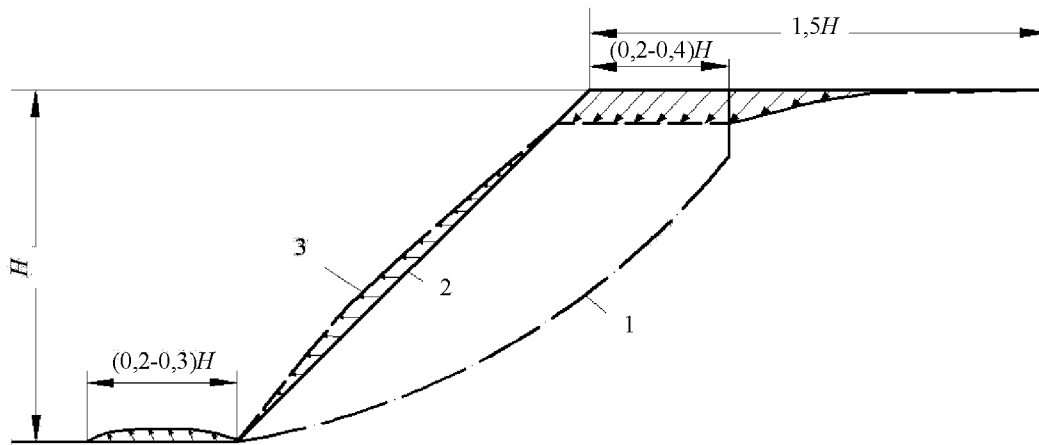


Рис.1. Схема деформирования однородного прибортового массива
 1 – положение потенциальной поверхности скольжения; 2 – исходный контур борта; 3 – контур деформированного борта

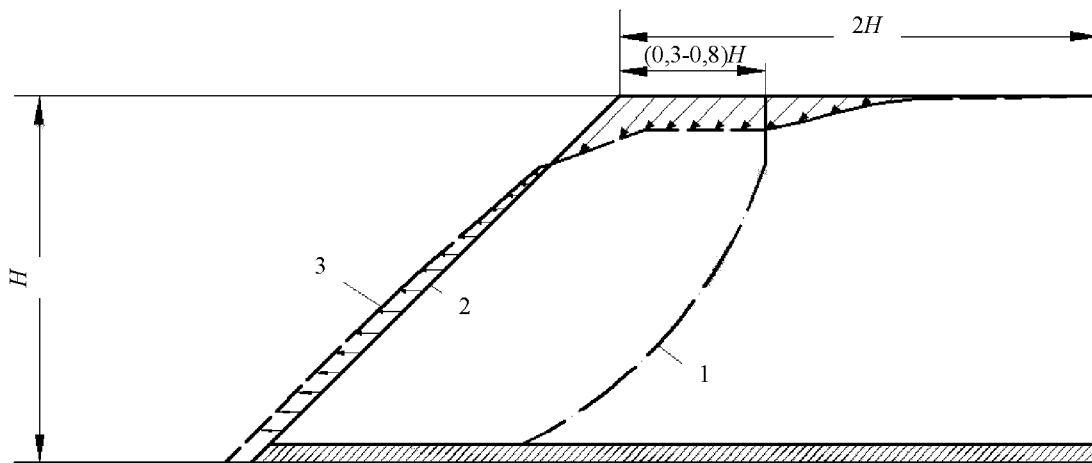


Рис.2. Схема деформирования прибортового слоистого массива горных пород, ослабленного в основании борта горизонтальным контактом
 1 – положение потенциальной поверхности скольжения; 2 – исходный контур борта; 3 – контур деформированного борта

предельные параметры. В методах, основанных на теории предельного равновесия, используют законы статики. Потенциальную призму обрушения рассматривают как геометрическое тело, к которому приложены сосредоточенные силы в виде векторов, а устойчивость откоса оценивают в результате решения силовой задачи.

Для решения задач по оценке напряженно-деформированного состояния бортов карьеров применяют метод конечных элементов, который основывается на применении приближенных методов вычислений,

методов матричной и линейной алгебры. Данный метод позволяет не только построить призму обрушения и найти коэффициент запаса, но и определить распределения напряжений в массиве, деформации борта карьера.

По данным натурных наблюдений за деформациями бортов карьеров ВНИМИ [1] установлены схемы деформирования прибортовых массивов и формирования оползней в различных горно-геологических условиях. Некоторые из них представлены на рис.1, 2.

Сравним результаты натуральных наблюдений, проведенных ВНИМИ, с расчетами напряженно-деформированного состояния прибортового массива МКЭ на примере однородного откоса.

Рассмотрим схему деформирования однородного прибортового массива.

За исходные данные примем следующие значения и параметры карьера: глубина карьера 400 м; угол наклона борта карьера $35,5^\circ$; физико-механические свойства горной породы:

Горная порода	Алевролиты
Плотность, t/m^3	2
Модуль деформации, МПа	2000
Коэффициент поперечной деформации	0,4
Угол внутреннего трения	32,2
Сцепление, кПа	189

Для решения поставленной задачи рассмотрим один борт карьера и выведем зависимости распределения смещений в борту карьера по линиям 1-1, 2-2, 3-3. Для построения графиков выберем три системы координат. За начало первой системы координат примем верхнюю бровку борта карьера, второй – середину дна карьера, третьей – нижнюю бровку борта карьера (рис.3).

Выполнив расчет напряженно-деформированного состояния пород МКЭ с помощью упруго-пластической модели однородного массива, выведем зависимости распределения смещений в борту карьера по трем направлениям, описанным выше.

Из рис.4 видно, что на расстоянии около 100 м от верхней бровки борта карьера резко увеличиваются вертикальные смещения. Данное значение (100 м) соответствует ширине призмы обрушения борта карьера и составляет $0,25H$, где H – глубина карьера.

На рис.5 представлена зависимость распределения вертикальных смещений по дну карьера (начало координат – середина дна). Из графика на рис.5 ясно, что деформации незначительны. Возле нижней бровки борта карьера на расстоянии около 40 м ($0,1H$) происходит поднятие, связанное с давлением призмы обрушения борта на дно карьера.

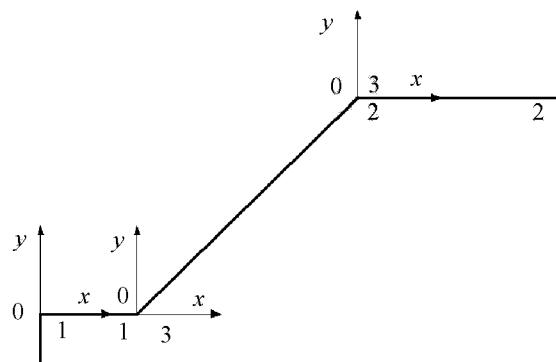


Рис.3. Схема борта карьера с расположением систем координат и линий, по которым произведен анализ деформированного состояния массива

Проанализировав рис.6, можно сделать следующие выводы: максимальные значения горизонтальных смещений откоса борта происходят на расстоянии около 120 м ($0,3H$) от дна карьера, где и образуется максимальная величина смещения оползня.

Исходя из натуральных данных по деформациям однородного прибортового массива, можно выделить следующие признаки [1]:

- по поверхности прибортового массива деформации распространяются на расстояние до $1,5H$ от верхней бровки борта, а по подошве – на величину $0,2-0,3H$ от нижней бровки;

- зона максимальных горизонтальных деформаций расположена в глубине прибортового массива и приурочена к середине борта с центром (ядром), удаленным от откоса на величину $0,3H$;

- в прибортовом массиве, кроме ядра горизонтальных деформаций, четко прослеживается зона максимальных горизонтальных деформаций, вытянутая сверху вниз вдоль борта, проходящая через ядро и выходящая на откос вблизи нижней бровки – на высоте около $0,2H$ от подошвы борта (см. рис.3).

Таким образом, проведенный сравнительный анализ результатов расчетов методом МКЭ с данными натуральных наблюдений свидетельствует, что выведенные зависимости распределения деформаций в однородном прибортовом массиве согласуются. Следовательно, расчеты МКЭ позволяют

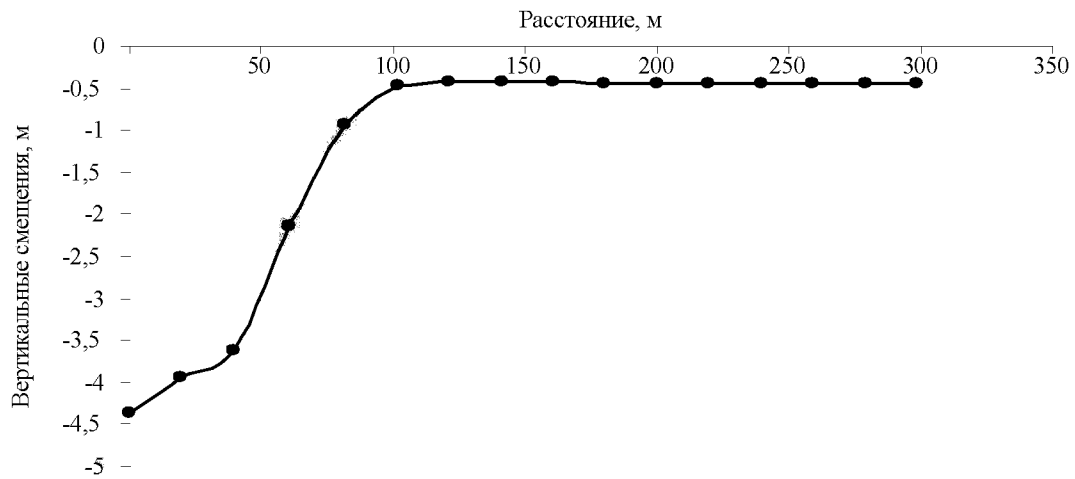


Рис.4. Распределение вертикальных смещений по линии 2-2

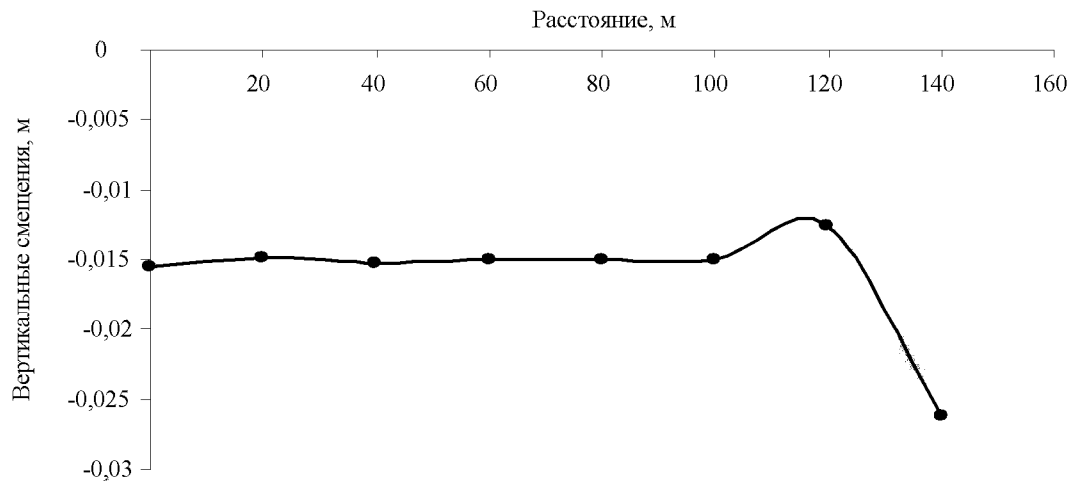


Рис.5. Распределение вертикальных смещений по линии 1-1

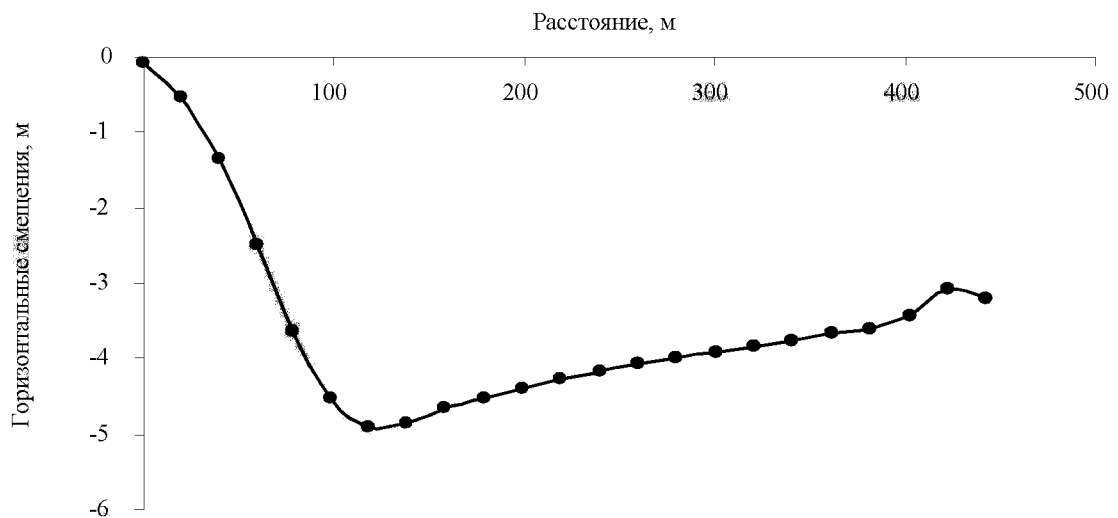


Рис.6. Распределение горизонтальных смещений по линии 1-2

достоверно прогнозировать деформирование прибортового массива с учетом реальных горно-геологических условий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов разрезов и отвалов, интерпретации их результатов и прогнозу устойчивости. Л., 1987. 118 с.

2. Пустовойтова Т.К. Совершенствование методов расчета устойчивости откосов / Т.К.Пустовойтова, А.М.Мочалов, А.Н.Гурин // Сборник научных трудов «70 лет ВНИМИ»; ВНИМИ. СПб, 1999.

3. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. М.: Недра, 1965. 378 с.

REFERENCES

1. Methodical instructions on supervision over deformations of boards of cuts and sailings, interpretations of their results and to the stability forecast. Leningrad, 1987. 118 p.

2. Pustovoytova T.K. Perfection of methods of calculation stability of slopes / T.K.Pustovoytova, A.M.Mochalov, A.N.Gurin // the Collection of proceedings «70 years VNIMI». VNIMI. Saint-Petersburg, 1999.

3. Fisenko G.L. Stability of boards of open-cast mines and sailings. Moscow: Nedra, 1965. 378 p.