

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНА СЛОЖНОГО СТРОЕНИЯ ПО НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОМУ СОСТОЯНИЮ

Куваков С.Ж.

ИГиОН НАН КР

Кыргызстан относится к горноскладчатым областям и более 70% территории занимают горы. При строительстве крупных геотехнических сооружений, таких как горные автомобильные дороги, гидроэлектростанции и карьера проблема оценки устойчивости является первоочередным.

Основными методами оценки устойчивости склонов и откосов является натурные и расчетные. Распространенным методом расчета устойчивости склона относятся метод Маслова-Берера, где рассматривают слабые прослойки склона с пониженной сопротивляемостью сдвигу/1/, кругоцилиндрической поверхности скольжения/2/, Шахунянца/1, 3/, Чугаева/1/ и другие.

На основании оползнеопасного склона сложного строения проектируется построить закладочный комплекс. Горными породами, слагающими данный склон являются амфиболовые сланцы, метасоматиты смешанного состава и покровные образования мощностью от 3 до 10 м (рис.1).

При расчетах устойчивости склона сложного строения учитывать следующие факторы:

- инженерно-геологические (условие залегание горных пород в массиве, структура и текстура горных пород);
- физико-механические свойства (модуль деформации, коэффициент Пуассона, объемный вес, сцепление, угол внутреннего трения, предел прочности при сжатии, предел прочности при растяжении);
- физико-географические (климатические условия);

Оценка устойчивости склона сложного строения по напряженно-деформированному состоянию является наиболее информативными /4/. Расчет напряженно-деформированного состояния производится на методе конечных элементов/5, 6, 7/. На сегодняшний день существуют программные обеспечения по моделированию напряженно-деформированного состояния склонов: программный пакет Geo-Slope, программный комплекс STRESS, Plaxis8.0, программный пакет SCAD, SoilWorks 2013, ANSYS 14.5 и другие.

Расчет напряженного состояния производится на основе разработанной структурно-механической модели склона сложного строения (рис.2) Используются физико-механические свойства горных пород (табл.1) и геометрических параметров склона ($H = 146\text{м}$

- высота борта карьера; длина основания 281м; общая крутизна склона $\alpha=27^\circ$).



Рис. 1 – Инженерно-геологический разрез исследуемого склона сложного строения с нанесенным контуром.

Таблица 1. Физико-механические свойства горных пород (1 – амфиболовые сланцы; 2 – метасоматиты смешанного состава; 3 – покровные образования)

горной породы	Модуль деформации, МПа	Коэффициент Пуассона	Объемный вес, кг/м ³	Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, град.	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при растяжении (расчетным путем), МПа
	1778,28	0,35	2600	3,00	43	154	15,4
	2540,14	0,35	2325	4,83	43	140	14,0
			1900	3,00	26		

Расчеты устойчивости склона по оценке НДС, будет проводиться по разработанной структурно-механической модели склона сложного строения, которая включает следующие параметры (рис. 2):

- Физико-механические свойства: объемный вес, модуль деформации, коэффициент Пуассона, предел прочности при сжатии, предел прочности при растяжении, сцепление, угол внутреннего трения;
- Геометрические параметры: высота, крутизна и длина основания склона;
- Инженерно-геологический разрез: топосъемка, маракшейдерская съемка, форма залегание горных пород склона;
- Формирование матрицы жесткости, решение алгебраических систем уравнения, расчет деформационных характеристик, расчет поля напряжении производится автоматически;

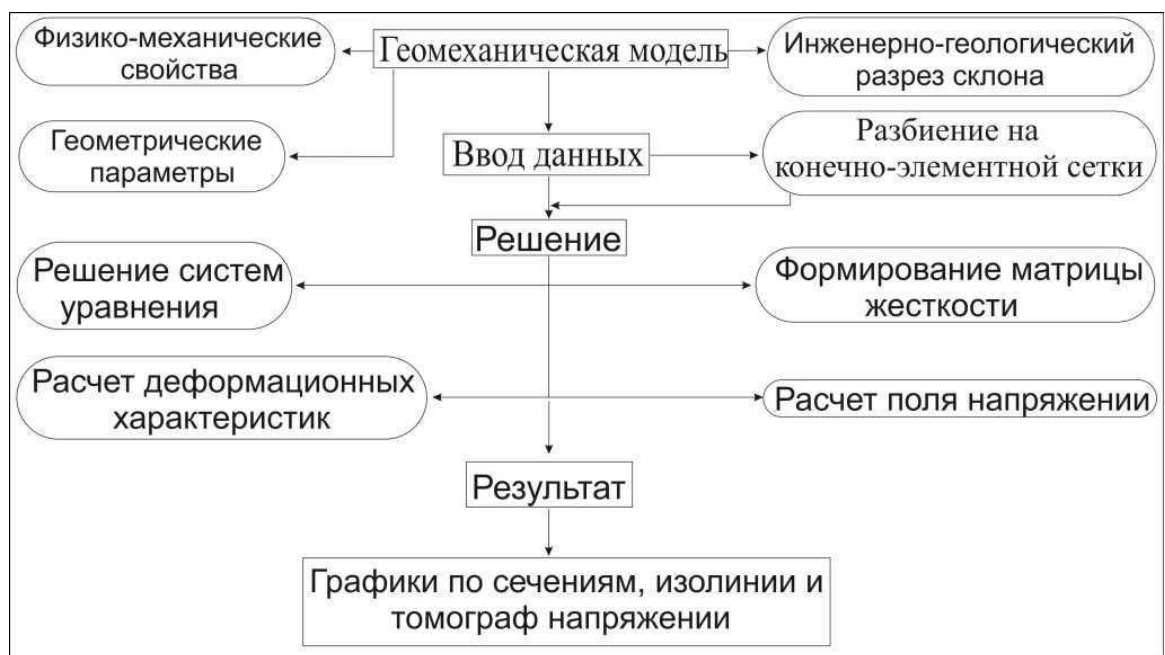


Рис. 2 – Структурно-механическая модель склона сложного строения.

Согласна методу конечных элементов, разбиение на конечно-элементные сетки осуществляется следующим образом /5, 6/:

- Узлы должны располагать так, что количество узлов в противоположных сторонах прямоугольной области должны иметь равное количество, а на смежных - разное количество;

- Узлы в треугольной области следует расставить так, что бы было равное количество узлов во всех сторонах (рис.3);

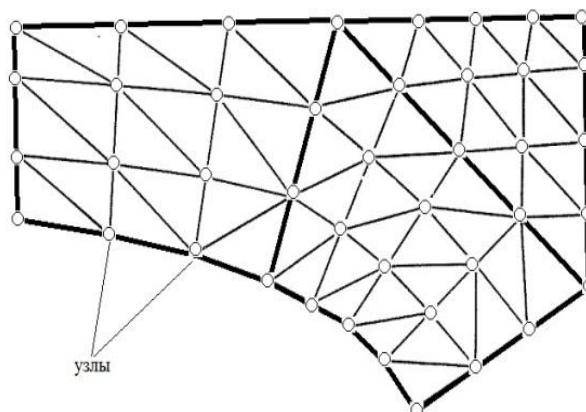


Рис.3 – Деление области на четырехугольные зоны с правильным разбиением на линейные треугольные элементы.

Контур, нанесенный на инженерно-геологическом разрезе был разбит на 8 больших блоков, в которых зафиксировали 681 узлов, 200 четырехугольных элементов заданы граничные условия (рис 4).

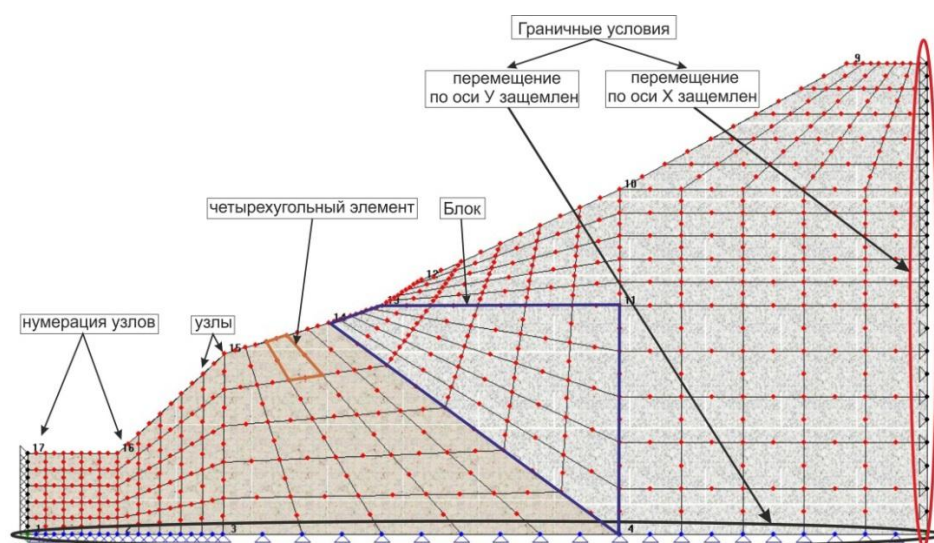


Рис. 4 – Разбиение контура на конечно-элементные сетки.

По результатам расчета напряжений склона отстроены изолинии вертикальных напряжений и показаны зоны концентрации (рис.2). Максимальные значения напряжений наблюдается в основании склона и на склоне. На основании склона в зоне концентрации значение вертикальных напряжений составил $\sigma_{\text{верт}}=18,5\text{МПа}$, а на

склоне в зоне концентрации 2 - $\sigma_{\text{верт}} = 10,6 \text{ МПа}$. Из этих данных следует, что вертикальные напряжения в зоне концентрации 1 в 1,7 раза больше чем, в зоне концентрации 2.

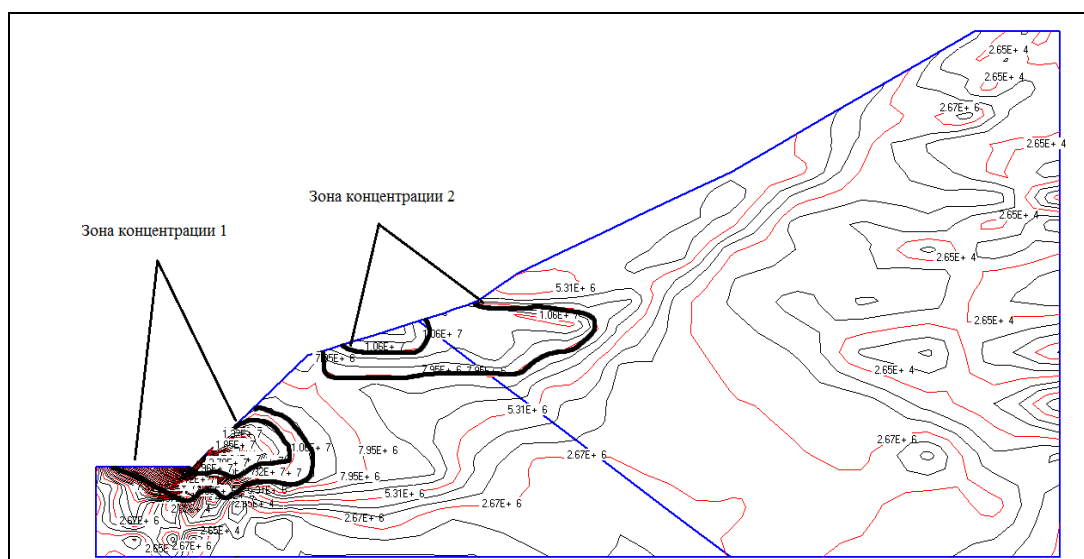


Рис. 5 – Изолинии вертикальных напряжений и зоны концентрации.

По результатам расчетов были получены деформационные характеристики. Установлены деформационные характеристики склона: 1) просадка в верхней части склона 80мм; 2) сдвиг в зоне контакта до 25мм; 3) в основании склона сдвиг составил 8мм.

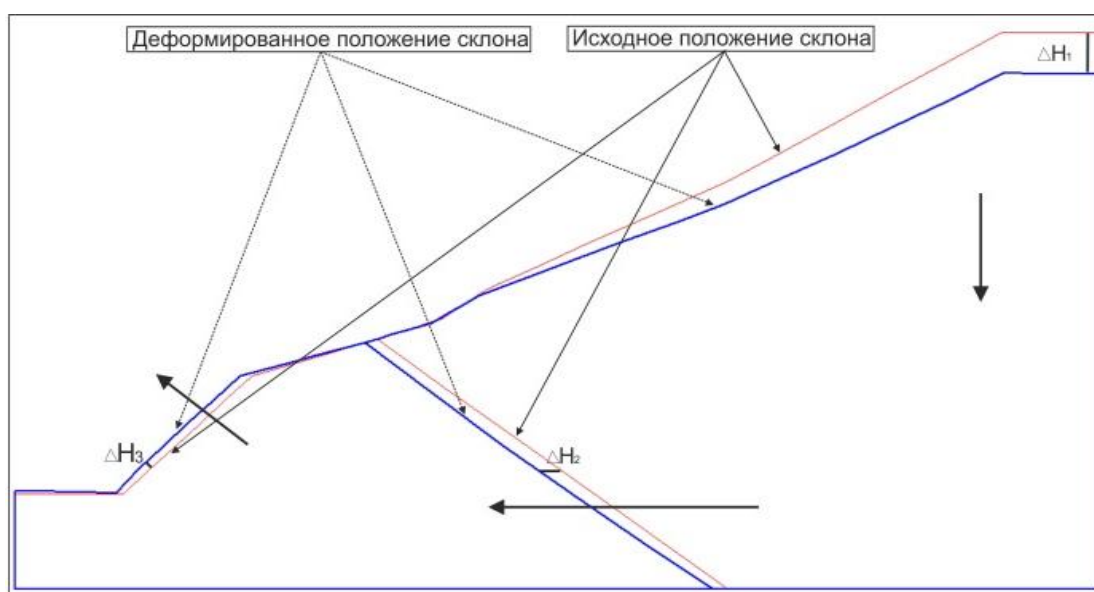


Рис. 6 – Деформация склона (сдвиг и смещение) STRESS

Установлены следующие напряженные и деформационные характеристики:

- Из теории прочности горных пород $\sigma_1 \leq [\sigma]$ или $\sigma_2 \leq [\sigma]$, сравнивая значение вертикальных напряжений с предельно допустимым значением выявили, что основания склона по зоне концентрации¹ в не устойчивом, а по зоне концентрации² – в предельном состоянии: $15,4\text{МПа}/18,5\text{МПа}=0,8 \geq 1$ – условие не выполняется;
- $14,0\text{МПа}/10,6\text{МПа}=1,3 \geq 1$ – условие выполняется;
- Как показана на рис.6 по деформационным характеристикам видим, что происходит просадка и сдвиги ΔH_1 , ΔH_2 , ΔH_3 в сторону борта склона, что и обуславливает неустойчивое состояние нижнего борта склона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Предложения по расчету устойчивости откосов высоких насыпей и глубоких выемок, Москва 1966г.
2. Bishop F.W. The use of the circle in the stability analysis of slopes //Geotechnique, 1999
3. Г.Л. Фисенко Устойчивость бортов карьеров и отвалов, Изд. «Недра», Москва 1965г.
4. О.В.Никольская, Прогноз устойчивости откосов горных дорог в скальных и полускальных обнажениях склонов – напряженно-деформированное состояние массивов пород в районах с горным рельефом, изд. «Илим», Фрунзе 1987 (стр. 31-36)
5. Л. Сегерлинд, Применение метода конечных элементов, изд. МИР, Москва 1979 (стр. 10-15);
6. С. Усманов, Использование программного комплекса STRESS для оценки устойчивости бортов карьеров, Вестник КРСУ, том 8 №1, 2008 (стр. 85-88);
7. Абдылдаев Э.К., Напряженно-деформированное состояние массива горных пород вблизи выработок, изд. «Илим», Фрунзе 1990г.