

ПРОГНОЗ ОПОЛЗНЕОПАСНЫХ УЧАСТКОВ СКЛОНА НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ

А.А. Ислямова

Научный руководитель профессор М. М. Немирович-Данченко
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск, Россия

На возникновение напряженного состояния склона, которое может привести к образованию оползня, наибольшее влияние оказывает сложная форма рельефа и механические характеристики слагающих его грунтов. Данное наблюдение было получено и в результате полевых наблюдений, и в специальных исследованиях с применением лабораторных установок. Обычно оползнеопасный участок имеет выраженную верхнюю бровку и сложное расчлененное строение склона.

В данной работе поставлена задача подготовить компьютерную модель склона с потенциальной способностью образования оползня, рассчитать распределение напряжений в его теле и выделить наиболее опасный участок. Отличительная особенность такой постановки – оценка устойчивости покровных образований, на поверхности которых отсутствуют явные признаки формирования оползня. К таким признакам можно отнести наличие трещин растяжения на склоне, что является прямым следствием ослабления прочности грунтов и нарушения равновесия.

Поставленная задача решается численно, путем конечно-разностного расчета поля напряжений в специально созданной механико-математической модели склона. Геологический разрез модели состоит из коренной основы и покровных образований мощностью от 5 до 30 м, угол падения склона задается в пределах 15-35 градусов.

Для проверки корректности алгоритма и тестирования разработанных программ использовались исходные данные и результаты физического эксперимента, проведенного в Институте физики и механики горных пород НАН Кыргызстана [1]. В опыте использовались модели, подобные изображенной на рис. 1, а с тремя основными углами склона: 15, 25 и 35°. Распределение напряжений фиксируется методом фотоупругости, выделяются максимальные касательные напряжения. Количественной характеристикой напряженного состояния служит число контрастных полос, зарегистрированных в теле модели. В работе показано, что при увеличении угла падения пластов склона до 35° наблюдается появление максимальных концентраций напряжений не только на угловой точке, но и смещение их вниз вдоль подошвы покровных отложений. Следствием такого поведения характеристик поля может являться неустойчивость склона и потенциальная опасность образования оползня.

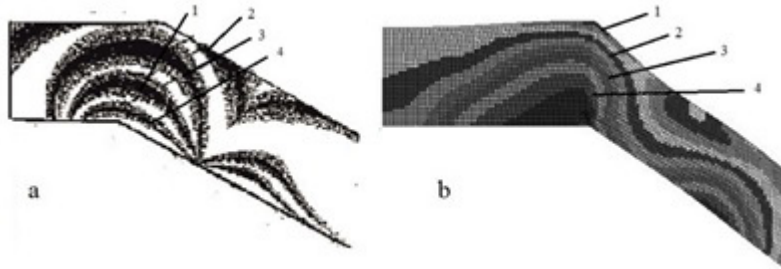


Рис. 1. а) Модель склона и распределение касательных напряжений из [1];
б) То же, полученное в результате расчета; 1, 2, 3, 4 - порядок полос

Для выполнения компьютерного моделирования была составлена аналогичная модель и произведен расчет конечно-разностным методом, адаптированным для геологических сред [2]. Для более наглядного сравнения исходный угол наклона модели составлял также 35°. Толщина покровных грунтов на склоне – 24,5 м, их плотность $\sigma = 1500 \text{ кг/м}^3$, модуль Юнга $E = 5 \text{ МПа}$, коэффициент Пуассона $\nu = 0,32$. Уравнения движения содержат вектор силы тяжести, направленный вертикально вниз. Установившаяся картина максимальных касательных напряжений приведена на рис. 1, б. Судя по данному распределению напряженного состояния, особая точка поля находится не в зоне изменения угла наклона модели, а смещена вниз по границе грунтов. Данная особенность совпадает с результатом физического эксперимента, описанного в [1].

При анализе полевых наблюдений за поведением различных по устойчивости склонов отмечается, что при переходе массы грунтов в неустойчивое состояние зона растягивающих напряжений распространяется вниз вплоть до подножия склона. Последующее развитие процесса приводит к проседанию дневной поверхности в точке, удаленной от бровки на расстояние, примерно равное мощности покрывающих грунтов. Данные особенности формирования оползня регистрируются в ходе математического расчета, что говорит о корректности комплекса используемых программ, достоверности получаемых результатов и возможности применения алгоритма для решения практических инженерных задач.

Следующий этап работы заключался в построении модели реального участка, расположенного вдоль профиля проектируемой автомобильной дороги. Рассматриваемая ранее модель склона представляла собой двухслойный разрез с весьма простой геометрией границ, чего нельзя ожидать от реального геологического строения форм рельефа. Поэтому в качестве исходных данных для расчета был взят утвержденный геологический разрез профиля, проходящий по склону карьера в районе г. Белово, Кемеровская область (рис. 2, а). Скан был переведен в векторный формат изображения, затем зона каждого типа грунта заполнялась соответствующим цветом (табл.). При помощи технологии цветовой заливки можно каждой точке рисунка задать набор присущих породе характеристик, участвующих в расчете. В результате получаем модельный разрез, где присутствует семь

различных по своим свойствам сред (рис. 2,б), в том числе и атмосферный воздух, нужный для расчета явлений на дневной поверхности. Таким образом получаем модель размерами 819*598 м, при этом количество расчетных ячеек составило около $0.5 \cdot 10^6$.

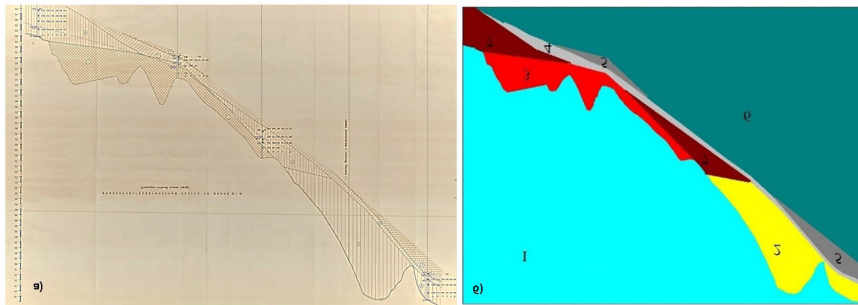


Рис. 2. а) исходный геологический разрез
б) полученный растровый рисунок (обозначения цветов в таблице)

Таблица

Характеристики и цветовое обозначение грунтов разреза

	ρ , кг/м	V_s , м/с	V_p , м/с	Цвет модели	Состав вещества
1	1,2	0	343		Атмосферный воздух при +20°C
2	1,98	135 - 270	260 - 320		Суглинок аллювиально-делювиальный, полутвердый - тугопластичный
3	1,75	125 - 140	220 - 290		Насыпной грунт
4	1,954	140 - 180	240 - 290		Суглинок элювиальный, твердый - полутвердый с единичными включениями мелкой дресвы
5	2,20	600	1300		Полускальный грунт (аргиллит, алевролит, песчаник) выветрелый до щебня и дресвы - обломочная зона коры выветривания
6	2,20	1000	1600		Кора выветривания
7	1,91	135 - 180	220 - 350		Суглинок аллювиально-делювиальный, мягкопластичный - текучепластичный

После построения модели был запущен расчет механических параметров, влияющих на напряженное состояние склона. Ниже (рис. 3) представлена теневая картина установившегося поля максимальных касательных напряжений.

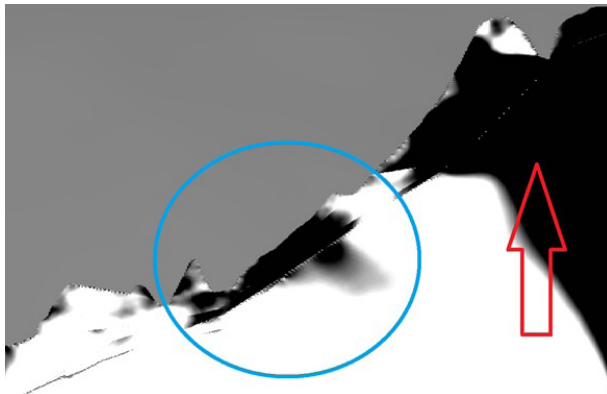


Рис. 3. Поле максимальных касательных напряжений. Красная стрелка – влияние правой границы, в синем круге – полученный оползнеопасный участок.

На рис. 3 видно, что существенно на результат расчета влияет правая граница (так называемая «жесткая стенка»). Поэтому эту часть расчета следует считать недостоверной. Синим кругом отмечена область, очевидно, не подверженная влиянию граничных условий. Существующие в этой области касательные напряжения достигают 5 Мпа и могут быть критическими для устойчивости оползневого тела, находящегося в метастабильном состоянии.

В результате проведенного исследования можно предположить, что средняя часть склона может оказаться наиболее неустойчивой при дополнительных условиях, критических для гравитационных оползней: резкое изменение влажности или сейсмического воздействия любого генезиса. Это поведение, вероятно, вызвано наличием мягкопластичного суглинка, частично подстилающего насыпной грунт. В поле силы тяжести напряженное состояние мягкопластичного суглинка смещается вниз по склону, приводя к росту касательных напряжений в районе.

Литература

1. Айтматов И.Т., Кожугулов К.Ч., Никольская О.В. Геомеханика оползнеопасных склонов. – Бишкек: Изд-во "Илим", 1999. - 208 с.
2. Немирович-Данченко М.М., Стефанов Ю.П. Применение конечно-разностного метода в переменных Лагранжа для расчета волновых полей в сложнопостроенных средах // Геология и геофизика. – 1995. – Т. 36. – № 11. – С. 95-104.