

УДК 622.834.1

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНОВ МЕЗОРЕЛЬЕФА НА ПОДРАБАТЫВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

М.А. Егоньян

Донецкий национальный технический университет

*Описані алгоритм і програма розрахунку коефіцієнта запасу стійкості для схилу мезорельєфу методом стійкого укусу та методом кругло-циліндричних поверхонь сковзання. Наведені приклади роботи програми.*

В настоящее время задачи оценки и прогноза устойчивости склонов мезорельефа приобретают все большее значение. Основными причинами этого являются дефицит в больших городах территорий для строительства зданий и сооружений, дорог, проложения трасс трубопроводов, линий электропередач и др. Нарушение устойчивости нагруженных склонов, являющихся основаниями сооружений, связано с огромным материальным ущербом и возможными человеческими жертвами.

Следовательно, надежный и эффективный метод расчета устойчивости склонов мезорельефа с учетом всех основных параметров, влияющих на их устойчивость, является актуальной задачей.

Об устойчивости склона судят по значению коэффициента запаса устойчивости. В данной работе его расчет производится двумя способами: метод устойчивого откоса и метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения.

Целью работы является разработка программного продукта для расчета на ЭВМ коэффициента запаса устойчивости по методам устойчивого откоса и круглоцилиндрических поверхностей скольжения.

Мезорельеф - неровности земной поверхности, средние по размерам, с амплитудами высот до нескольких десятков метров.

Склоны - наклонный участок земной поверхности, ограниченный положительными и отрицательными формами рельефа.

В массиве, ограниченном склоном, под влиянием сил тяжести грунт стремится сдвинуться вниз и в сторону склона. В методе круглоцилиндрических поверхностей скольжения устойчивость склона определяется отношением момента всех сил удерживающих к моменту всех сил сдвигающих относительно центра дуги скольжения.

$$k_{\text{зап}} = \frac{\sum q_n \operatorname{tg} \varphi}{\sum t_n},$$

где  $q_n$  - нормальные составляющие силы  $Q$ , равной собственному весу элемента оползающего клина;

$\varphi$  - угол внутреннего трения грунта;

$t_n$  - касательные составляющие силы  $Q$ , равной собственному весу элемента оползающего клина.

Согласно методу устойчивого откоса величина коэффициента запаса устойчивости склона для несвязного грунта определяется по формуле:

$$k_{\text{зап}} = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \alpha}$$

а для связного грунта - по формуле:

$$k_{\text{зап}} = \frac{\operatorname{tg} \psi_p}{\operatorname{tg} \alpha}$$

где  $\varphi$  - угол внутреннего трения грунта;  $\alpha$  - угол падения склона;  $\psi_p$  - угол сопротивления грунта сдвигу.

**Под связным грунтом понимают** грунт, особенность строения которого обусловлена количественным соотношением частиц, обеспечивающих его целостность. К связным грунтам относятся: супесь, суглинок, глина.

**Под несвязным грунтом понимают** грунт, состоящий из частиц размерами от 0,05 до 200 мм. К несвязным грунтам относятся: галька, щебень, гравий, дресва, песок, пыль.

Метод устойчивого откоса наиболее прост и надежен. Метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения является наиболее распространенным. Оба метода используются при проектировании выемок и насыпей, а также при проверке устойчивости естественного склона.

Проверку устойчивости склона рекомендуется выполнять по следующим условиям:

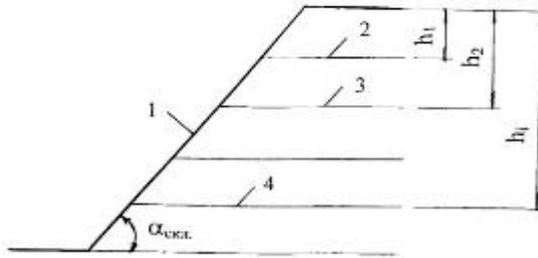
-  $k_{\text{зап}} < 1$  - склон находится в неустойчивом состоянии;

-  $k_{\text{зап}}$  в пределах 1 - склон находится в состоянии предельного равновесия;

-  $k_{\text{зап}} > 1$  - склон находится в устойчивом состоянии.

После разделения массива склона на ряд горизонтальных слоев в соответствии со стратегией пород (Рисунок 1) производится вычисление коэффициента запаса устойчивости для каждого из слоев в следующей последовательности:

- вертикальная природная нагрузка  $P_0 = \gamma * h$ ;
- тангенс угла внутреннего трения  $tg\varphi$ ;
- отношение удельного сцепления к вертикальной природной нагрузке ( $C_{CP} / P_0$ );
- тангенс угла сопротивления грунта сдвигу  $tg\psi = tg\varphi + C_{CP} / P_0$ ;
- коэффициент запаса устойчивости склона  $k_{зап} = tg\psi / tg\alpha$ .



**Рис. 1 - Схема для расчета коэффициента запаса устойчивости по методу Маслова**

Во втором методе за саму поверхность скольжения принимают круглоцилиндрическую поверхность. Оползающий клин делится вертикальными сечениями на ряд элементов. На каждый элемент клина действуют следующие силы:

- сила, приложенная в центре тяжести элемента и равная собственному весу элемента;
- реакция оставшейся части грунта на поверхности скольжения.

Глубина, ниже которой в массиве склона могут возникать площадки скольжения, определяется по формуле:

$$h_0 = \frac{2C_{CP}}{S_{CP}} ctg(45^\circ - \frac{\varphi_{CP}}{2}),$$

где  $C_{CP}$  - удельное сцепление;

$S_{CP}$  - объемный вес;

$\varphi_{CP}$  - угол внутреннего трения.

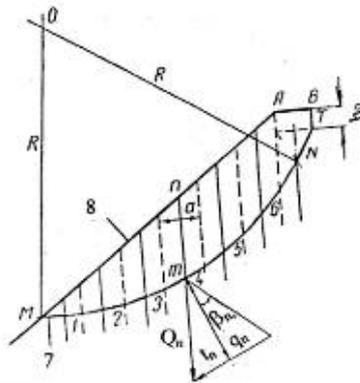
Строится площадь скольжения в массиве подрабатываемого склона (Рисунок 2). Графически определяется угол  $\beta$  путем построения векторов веса грунта  $Q_n$ ,  $t_n$  - касательных составляющих сил  $Q_n$ ,  $q_n$  - нормальных составляющих сил  $Q_n$ .

Вычисляют:

- вес грунта n-го блока  $Q_n = F_n * S_{CP}$  ( $F_n$  - площадь слоя грунта);
- нормальные составляющие  $q_n = Q_n * \cos \beta_n$ ;
- касательные составляющие  $t_n = Q_n * \sin \beta_n$ .

Находят суммы  $\sum q_n$  и  $\sum t_n$ , после чего определяется коэффициент запаса устойчивости грунта:

$$k_{зап} = \frac{\sum q_n t g \varphi}{\sum t_n}$$



**Рис. 2 - Схема для расчета сдвига и удерживающих сил для каждой плоскости скольжения в массиве склона по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения**

В качестве теста данных алгоритмов, они были тщательно исследованы и введены для расчета в программный пакет Microsoft Excel. В результате работы с этим программным пакетом имеется файл, при вводе в который исходных данных сразу вычисляется конечный результат – коэффициент запаса устойчивости склона.

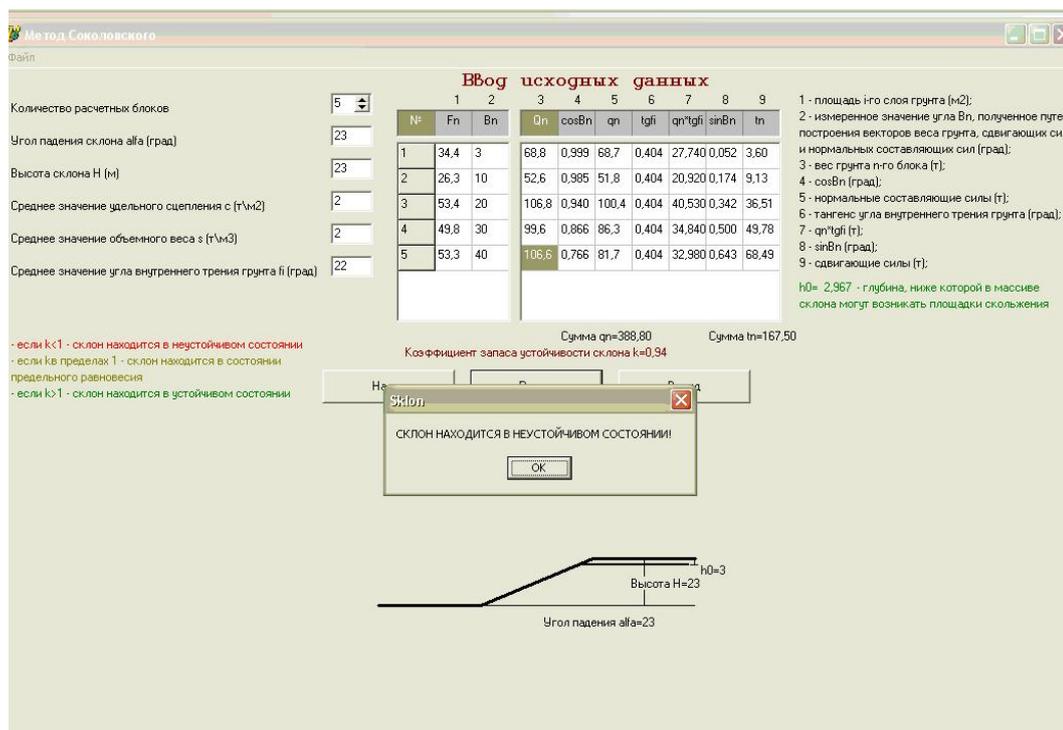
После анализа расчета была поставлена задача, конечный результат которой - программный продукт вычисления коэффициента запаса устойчивости склонов мезорельефа. Программа разрабатывается в среде программирования Delphi на языке программирования Object Pascal. Программой предусмотрена графика, а так же работа с файлами Microsoft Excel. Фрагмент интерфейса программы приведен на рисунке 3.

В качестве примера подобного программного продукта была рассмотрена программа Slope (Склон), разработанная в г.Дордрехт (Нидерланды) Технологическим университетом Делфта.

Продукт разрабатывается с перспективой дальнейшей его модернизации в ходе углубления изучения вопросов устойчивости склонов мезорельефа.

### **Выводы**

В связи с тем, что большая часть территории Донбасса характеризуется мезорельефом, то возникает актуальная задача разработки надежного метода расчета устойчивости склонов мезо-



**Рис. 3 - Интерфейс программы расчета устойчивости склона методом устойчивого откоса**

рельефа на подрабатываемых территориях. Вследствие этого разработан алгоритм и программное обеспечение для расчета устойчивости склонов по методу "устойчивого откоса" и по методу кругло-цилиндрических поверхностей.

Установлен критерий гарантированной устойчивости склона мезорельефа - величина коэффициента устойчивости склона, равная двум.

#### Библиографический список

1. Соколовский, В.В. Статика сыпучей среды. Изд. 2 [Текст]/ В.В. Соколовский. – М.: Гостеиздат, 1954.
2. Цытович, Н.А. Механика грунтов [Текст]/ Н.А. Цытович. – М.: Госстройиздат, 1960.
3. Маслов, Н.Н. Прикладная механика грунтов [Текст]/ Н.Н. Маслов. – М.: Изд-во мин-ва стр-ва предпр. машиностроения, 1949. – 328 с.