

УДК 622.1:622.271

М.В. Шпакова**ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСА НА СЛАБОМ НАКЛОННОМ ОСНОВАНИИ**

Предложен вероятностный подход к решению задач устойчивости откосов на слабом основании. Для автоматизации расчетов по определению параметров и оценки устойчивости карьерных откосов разработано специальное программное обеспечение (ПО) с помощью пакета Delphi фирмы Inprise Inc.

Ключевые слова: коэффициент запаса устойчивости, угол откоса, физико-механические свойства откоса, программное обеспечение.

Семинар № 2

M.V. Shpakova
THE ESTIMATION OF THE SLOPE STABILITY AT THE WEEK INCLINED FOUNDATION

The probabilistic approach to problem solving resistance of dip-slopes on mild base is offered. For automation of calculations by definition parameters and an assessment of resistance of quarried dip-slopes special software with the help of package Delphi of firm Inprise Inc is developed.

Key words: stability margin factor, angle of slope, physical and mechanical properties of the slope, software.

В работах [1, 2] показано, что устойчивость реального борта карьера должна оцениваться коэффициентом запаса устойчивости, определяемым как отношение среднего сопротивления пород сдвигу, рассчитанного с использованием нормативных прочностных характеристик пород по потенциальной поверхности скольжения в откосе, приведенном в предельное состояние, к среднему ка-

сательному напряжению, действующему по той же поверхности скольжения; численное значение этого показателя определяется как отношение расчетных прочностных характеристик пород к предельным их значениям.

Только при таком подходе можно оценить погрешность коэффициента запаса устойчивости или сравнить разные расчеты, говорить о надежности полученных данных.

Аналогичный подход нами применен для расчетной схемы откоса на слабом наклонном основании. Согласно работе [1-2] решение такой задачи проводится по нескольким расчетным схемам, уравнение предельного равновесия для одной из расчетных схем записывается в виде формулы (1) [1].

Простой анализ уравнения (1) показывает, что точное решение этой задачи графическим способом практически невозможно. Непосредственное решение таких уравнений относительно H и B в элементарных

$$n = \frac{\gamma_{cp.636} Rtg \rho' \int_{\beta_1}^{\beta_2} H_4 k_1 d\theta + \gamma Rtg \rho \int_{\beta_2}^{\beta_4} H_5 k_1 d\theta + k'R \int_{\beta_1}^{\beta_2} d\theta + kR \int_{\beta_2}^{\beta_4} d\theta + kH_{90} / 3 + P_0 tg \rho' Cos(\beta)}{0,5\gamma_{cp.636} R \int_{\beta_1}^{\beta_2} H_4 k_2 d\theta + 0,5\gamma R \int_{\beta_2}^{\beta_4} H_5 k_2 d\theta + P_0 Sin(\beta)} \quad (1)$$

функциях не представляется возможным. Поэтому нами разработано специальное программное обеспечение (ПО) с помощью пакета Delphi, решение таких уравнений выполнялось численно-аналитическим способом на ПЭВМ. Расчетный откос приводится в предельное состояние методом последовательных приближений путем пропорционального изменения оценок прочностных характеристик до предельных значений по составленным программам: SLABOSN и SLABOSN_N. Программа SLABOSN позволяет решать задачу: с учетом заданных расчетных физико-механических характеристик пород массива k, ρ, γ , и слабого слоя k', ρ', γ' и угла откоса α определить предельную высоту устойчивого откоса H и ширину призмы возможного обрушения B . Программа SLABOSN позволяет определить коэффициента запаса устойчивости реального откоса на слабом основании с приведением откоса в предельное состояние.

Программы помимо расчета параметров предельного откоса позволяют рассчитать и построить графики зависимостей $n = f(\alpha, k, \rho, k', \rho', \gamma, \gamma', H(B))$. Использование графиков и таблиц позволяет оценить степень устойчивости откоса любой высоты, находящейся в заданных интервалах, не проводя дополнительных расчетов.

После приведения откоса в предельное положение получим

$$n = \frac{tg \rho_n}{tg \rho_{пред}} = \frac{k_n}{k_{пред}} = \frac{tg \rho'_n}{tg \rho'_{пред}} = \frac{k'_n}{k'_{пред}} = \frac{tg \rho_n \sum P_i \cos \delta_i + k_n \sum \ell_i + tg \rho'_n \sum P_i \cos \beta + k'_n L_{прям}}{\sum P_i \sin \delta_i + \sum P_i \sin \beta} \quad (2)$$

или

$$n = \frac{L_1}{T_{сов}} \bar{\tau}_1 + \frac{L_{прям}}{T_{сов}} \bar{\tau}_{прям} = A_1 \bar{\tau}_1 + A_{прям} \bar{\tau}_{прям}, \quad (3)$$

где A_1 и $A_{прям}$ - коэффициенты, зависящие от формы поверхности

скольжения и количества расчетных блоков.

Использование приведенных уравнений дает возможность определить погрешность коэффициента запаса устойчивости по формуле

$$\sigma_n^2 = A_1^2 \sigma_{\tau_1}^2 + A_{прям}^2 \sigma_{\tau_{прям}}^2. \quad (4)$$

Здесь $\sigma_{\tau_1}, \sigma_{\tau_{прям}}$ - погрешности определения $\bar{\tau}_{уд}$ для блоков, находящихся на криволинейном и прямолинейном участках поверхности скольжения.

На основе выражения (4), задаваясь доверительной вероятностью, можно рассчитать параметры H и α предельного откоса, т. е. откоса с коэффициентом запаса устойчивости $n_{min} = 1$, значение которого отвечает нижней границе доверительного интервала.

Находим доверительные границы, которые с заданной доверительной вероятностью содержат истинный коэффициент запаса устойчивости

$$\tilde{n} - t_{p_0} \sigma_n < n < \tilde{n} + t_{p_0} \sigma_n \quad (5)$$

Если нижняя граница доверительного интервала окажется меньше единицы, то откос будет находиться в неустойчивом состоянии.

Устойчивому состоянию откоса будет соответствовать нижняя граница доверительного интервала, равная единице.

$$\tilde{n} - t_{p_0} \sigma_n = 1, \quad (6)$$

отсюда определяем t_{p_0} , соответствующее устойчивому состоянию откоса

$$t_{p_0} = \frac{(\tilde{n} - 1)}{\sigma_n} \quad (7)$$

По распределению Стьюдента и по числу степеней свободы можно определить, какой доверительной вероятности p соответствует найденное значение t_{p_0} .

Уровень риска r обрушения откоса $r = 1 - p$.



Рис. 1. Внешний вид интерфейса программы

Так как при расчете устойчивости используем только минусовые ошибки (идущие не в запас) и при использовании двухсторонней доверительной вероятности уровень риска определяется как $r = \frac{(1-p)}{2}$.

Используя выше приведенную методику и задаваясь доверительной вероятностью, можно рассчитать параметры N и α предельного откоса, т. е. откоса с коэффициентом запаса устойчивости $n_{\min} = 1$, значение которого отвечает нижней границе доверительного интервала.

Для автоматизации расчетов по определению параметров и оценки устойчивости карьерных откосов разработано специальное программное обеспечение (ПО) с помощью пакета Delphi фирмы Inprise Inc. (бывшая Borland Inc.) версии 6.0, которое может использоваться на рабочих станциях под управлением операционных систем Windows 95/98, Windows NT 4.0 и Windows 2000.

Схема обработки данных в программе состоит из следующих шагов: ввод данных, контроль данных, расчет параметров устойчивости откоса, построение контура откоса.

В структурном отношении программа спроектирована и реализована с использованием объектно-ориентированных технологий. Единственным строительным элементом программы является объект. Все программные объекты разделяются на несколько групп: объекты-компоненты среды разработки; низкоуровневые атомарные объекты; объекты-понятия проблемной области.

Объекты-компоненты среды разработки – объекты, поставляемые вместе со средой разработки Delphi. Благодаря единому объектно-ориентированному подходу эти объекты органично встраиваются в модель программы.

Низкоуровневые атомарные объекты – базовые объекты-понятия на основе которых строятся более сложные объекты.

Для расчета устойчивых параметров откоса входными данными являются: физико-механические свойства и геометрические элементы откоса.

Внешний вид интерфейса программы представлен на рис. 1.

Интерфейс программы состоит из шести основных элементов (рис. 1):

кнопок ввода исходных данных, расчета параметров откоса, сохранения результатов в файле, построения предельного откоса, выхода из программы и окна текстовой информации, которое содержит информацию о полученных данных и результатах расчета.

Управление программой осуществляется с помощью клавиатуры и манипулятора «мышь».

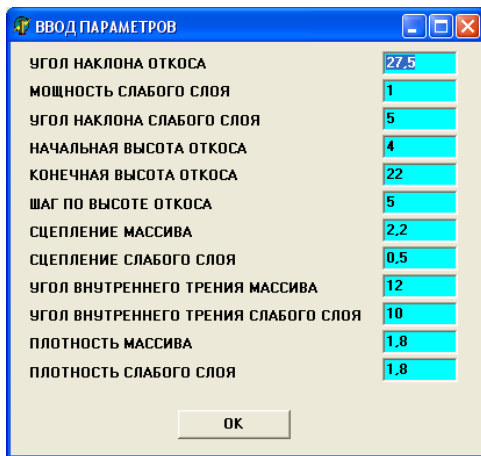


Рис. 2. Таблица ввода исходных данных

Рассмотрим пример расчета параметров устойчивого откоса для конкретных условий с использованием данной программы. Запускаем файл

SLABOSN.EXE. Перед нами появляется основное окно программы (рис. 1)

Для ввода физико-механических свойств откоса нажимаем кнопку «ВВЕДИТЕ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ», появляется таблица ввода данных (рис. 2). Вводим все необходимые параметры и нажимаем кнопку «ОК», программа возвращается в основное окно.

Для того, чтобы произвести расчет нажимаем кнопку «РАСЧИТАТЬ ПАРАМЕТРЫ», результаты расчетов отображаются в окне текстовой информации (рис. 3).

Окно текстовой информации, содержит информацию о полученных данных и результатах расчета, которые полностью интерактивны, т.е. результат можно сохранять в буфере обмена и вставлять в любой текстовый редактор.

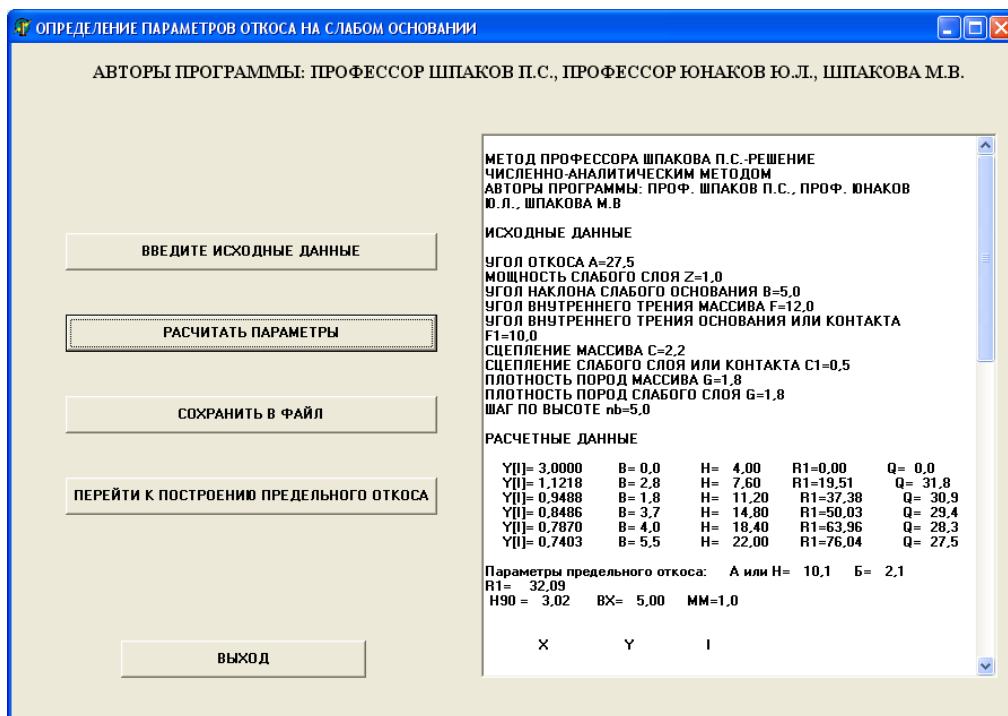


Рис. 3. Отображение результатов расчета

Для сохранения результатов расчета нажимаем кнопку «СОХРАНИТЬ В ФАЙЛ», в ответ система выдает следующее сообщение (рис. 4).

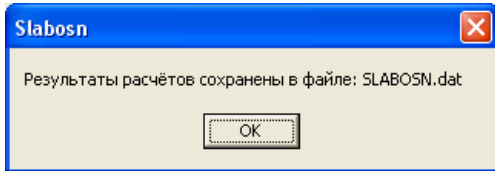


Рис. 4. Сообщение системы

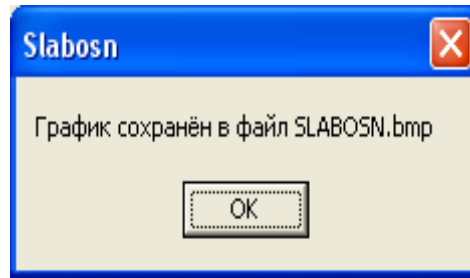


Рис. 7. Сообщение системы

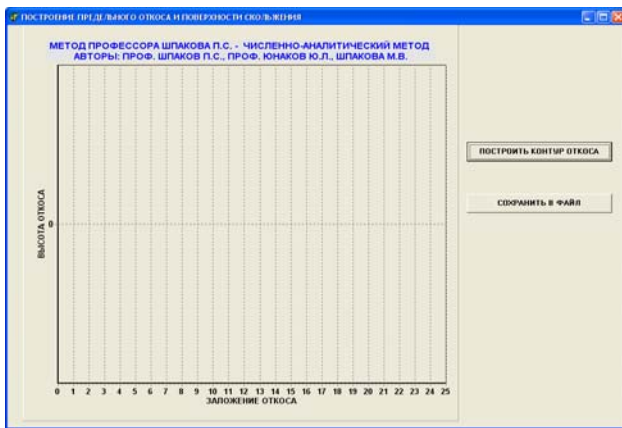


Рис. 5. Интерфейс окна построения предельного откоса

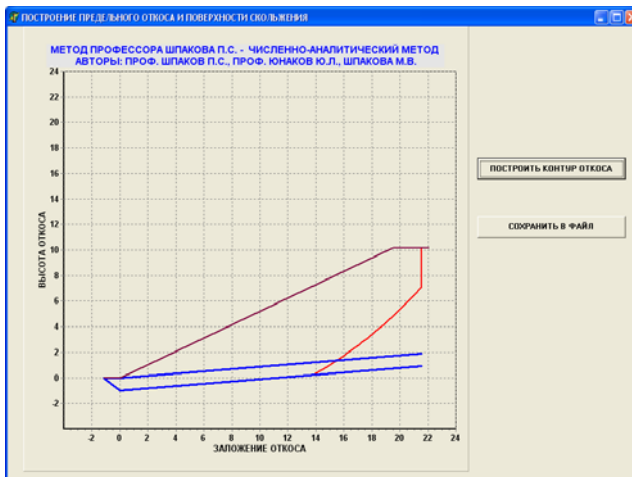


Рис. 6. Построение предельного откоса и поверхности скольжения

Для перехода к построению предельного откоса и поверхности скольжения нажимаем кнопку «ПЕРЕЙТИ К ПОСТРОЕНИЮ ПРЕДЕЛЬНОГО ОТКОСА», появляется окно построения (рис. 5).

Нажимаем кнопку «ПОСТРОИТЬ КОНТУР ОТКОСА» и программа строит предельный откос и поверхность скольжения (рис. 6). Для сохранения построенного откоса нажимаем кнопку «СОХРАНИТЬ В ФАЙЛ», в ответ система выдает следующее сообщение (рис. 7).

Задача по определению коэффициента запаса устойчивости реального борта карьера осуществляется по описанной выше методике, при помощи программы SLABOSN_N.exe. Алгоритм и интерфейс полностью идентичен описанному ранее, поэтому приведем данные расчета только для файла SLABOSN_N.dat.

Определение коэффициента запаса устойчивости реального откоса на слабом основании с приведением откоса в предельное состояние. Метод профессора Шпакова П.С. - решение численно-аналитическим методом.

Авторы программы: проф. Шпаков П.С., проф. Юнаков Ю.Л., Шпакова М.В.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

УГОЛ ОТКОСА $A=27,5$

МОЩНОСТЬ СЛАБОГО СЛОЯ $Z=1,0$

УГОЛ НАКЛОНА СЛАБОГО ОСНОВАНИЯ $B=5,0$

ВЫСОТА ОТКОСА $H=9,8$

СЦЕПЛЕНИЕ МАССИВА $C=2,75$

СЦЕПЛЕНИЕ СЛАБОГО СЛОЯ ИЛИ КОНТАКТА $C1=0,63$

УГОЛ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ МАССИВА $F=14,9$

УГОЛ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ ОСНОВАНИЯ ИЛИ КОНТАКТА $F1=12,4$

ПЛОТНОСТЬ ПОРОД МАССИВА $G=1,8$

ПЛОТНОСТЬ ПОРОД СЛАБОГО СЛОЯ $G1=1,8$

РАСЧЕТНЫЕ ДАННЫЕ

ШАГ ПО ПРОЧНОСТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ: $K2=1,0$

ШАГ ПО ОТЫСКАНИЮ НАИБОЛЕЕ НАПРЯЖЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

СКОЛЬЖЕНИЯ: $KK=7,0$

$H=9,75$ $R1=22,90$ $Q=31,67$

$KЗУ=1,312$ $B=1,37$ $H90=3,97$

$C/KЗУ=2,75$ $C1/KЗУ=0,63$

$f/KЗУ=14,9$ $f1/KЗУ=12,4$

РАСЧЕТНЫЕ ДАННЫЕ

ШАГ ПО ПРОЧНОСТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ: $K2=2,0$

ШАГ ПО ОТЫСКАНИЮ НАИБОЛЕЕ НАПРЯЖЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

СКОЛЬЖЕНИЯ: $KK=3,0$

$H=9,75$ $R1=31,86$ $Q=31,20$

$KЗУ=0,970$ $B=2,44$ $H90=2,84$

$C/KЗУ=2,10$ $C1/KЗУ=0,48$

$f/KЗУ=11,3$ $f1/KЗУ=9,$

$KЗУ$ ПО СЦЕПЛЕНИЮ = $1,3116$ $KЗУ$ ПО УГЛУ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ = $1,3116$

РАСЧЕТНЫЕ ДАННЫЕ

ШАГ ПО ПРОЧНОСТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ: $K2=3,0$

ШАГ ПО ОТЫСКАНИЮ НАИБОЛЕЕ НАПРЯЖЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

СКОЛЬЖЕНИЯ: $KK=3,0$

$H=9,75$ $R1=30,80$ $Q=31,22$

$KЗУ=1,002$ $B=2,44$ $H90=2,95$

$C/KЗУ=2,16$ $C1/KЗУ=0,49$

$f/KЗУ=11,7$ $f1/KЗУ=9,8$

$KЗУ$ ПО СЦЕПЛЕНИЮ = $1,2723$ $KЗУ$ ПО УГЛУ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ = $1,2723$

РАСЧЕТНЫЕ ДАННЫЕ

ШАГ ПО ПРОЧНОСТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ: $K_2 = 4,0$

ШАГ ПО ОТЫСКАНИЮ НАИБОЛЕЕ НАПРЯЖЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

СКОЛЬЖЕНИЯ: $KK = 3,0$

$H = 9,75$ $R_1 = 30,85$ $Q = 31,22$

$KЗУ = 1,000$ $B = 2,44$ $H_{90} = 2,94$

$C/KЗУ = 2,16$ $C_1/KЗУ = 0,49$

$f/KЗУ = 11,7$ $f_1/KЗУ = 9,8$

$KЗУ$ ПО СЦЕПЛЕНИЮ = $1,2742$ $KЗУ$ ПО УГЛУ ВНУТРЕННЕГО ТРЕ-

НИЯ = $1,2742$

Вывод

Отвал находится в устойчивом состоянии с коэффициентом запаса устойчивости $n = 1,2742$. За более подробным разъяснением можно обратиться к авторам программы.

Предлагаемая методика автоматизированной оценки устойчивости карьерных откосов позволяет оперативно и с высокой надежностью выполнять расчеты.

Таким образом, предлагаемый подход к оценке устойчивости карьерных откосов позволяет установить достоверные границы коэффициента запаса устойчивости и параметры откоса, обеспечивающие его предельное состояние при заданной достоверной вероятности. Решение данного вопроса представляется весьма

актуальным, т. к. позволяет учесть влияние ряда природных и техногенных факторов, обуславливающих высокий уровень неопределенности объекта исследований.

Предлагаемый вероятностный подход к решению задач устойчивости открывает большие перспективы для надежного обоснования параметров карьерных откосов и принятия оптимальных инженерных решений на различных стадиях проектирования и разработки месторождений открытым способом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шпаков П.С. Маркшейдерское обоснование геомеханических моделей и разработка численно-аналитических способов расчета устойчивости карьерных откосов. - Диссертация на соискание ученой степени д-ра техн. наук. - Л., 1988. - 494 с.

2. Шпаков П.С., Долгоносов В.Н., Шпакова А.П. Расчет параметров предельного откоса на слабом наклонном основании численно-аналитическим способом // Горный информационно-аналитический бюллетень, №3, 2003 **ГИАБ**

Коротко об авторе

Шпакова М.В. - Горный инженер маркшейдер, Муромский институт Владимирского государственного университета, spsp01@rambler.ru

