

УДК 622.271.3.001

П.С. Шпаков, Ю.Л.Юнаков, М.В. Шпакова

РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ КАРЬЕРНЫХ ОТКОСОВ ПО ПРОГРАММЕ STABILITY ANALYSIS

Разработано специальное программное обеспечение с помощью пакета Delphi 2009 для автоматизации расчетов по определению параметров и оценки устойчивости карьерных откосов. Программа состоит из двух модулей: МОДУЛЬ «ОДНОРОДНЫЙ ОТКОС» и МОДУЛЬ «СЛАБЫЙ СЛОЙ» позволяющих решать десять задач.

Ключевые слова: устойчивость, карьерные откосы, Delphi, предельный угол откоса, высота откоса.

Для автоматизации расчетов по определению параметров и оценки устойчивости карьерных откосов разработано специальное программное обеспечение (ПО) с помощью пакета Delphi 2009: «STABILITY ANALYSIS: программа для расчета устойчивости карьерных откосов», которое может использоваться на рабочих станциях под управлением операционных систем Windows 95/98, Windows NT 4.0 и Windows 2000 и выше. программа для расчета устойчивости карьерных откосов» зарегистрировано под номером № 210612870 регистрационное свидетельство - №2010614557 от 9 июля 2010 г. [1-3].

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

Программа состоит из двух модулей: МОДУЛЬ «ОДНОРОДНЫЙ ОТКОС» и МОДУЛЬ «СЛАБЫЙ СЛОЙ» (рис. 1).

Модуль «ОДНОРОДНЫЙ» включает в себя пять подпрограмм:

ПРЕДЕЛЬНЫЙ УГОЛ (PRED_ALP) – определяет предельный угол откоса для заданной проектной (предельной) высоты откоса и заданных физико-механических характеристик массива. Интерфейс подпрограммы представлен на рис. 2.

Для работы с программой выбираем модуль «ОДНОРОДНЫЙ ОТКОС», выбираем вкладку «ПРЕДЕЛЬНЫЙ УГОЛ». Для ввода исходных данных нажимаем кнопку «ВВЕСТИ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ», перед нами появляются поля для ввода физико-механических характеристик (рис. 2). Для того, чтобы программа начала расчет нажимаем кнопку



Рис. 1. Внешний вид интерфейса программы



Рис. 2. Интерфейс подпрограммы PRED_ALP

«РАСЧИТАТЬ ПАРАМЕТРЫ», в окне вывода появляются расчетные данные (см. рис. 2). Для сохранения расчетов нажимаем на кнопку «СОХРАНИТЬ РАСЧЕТЫ», выбираем место для сохранения, например диск D, в ответ программа выдаст следующее сообщение (рис. 3).

Для построения предельного откоса нажимаем кнопку «ПОСТРОИТЬ ПРЕДЕЛЬНЫЙ ОТКОС», программа выдает результаты построения (рис. 4): Для сохранения результатов построения нажимаем кнопку «СОХРАНИТЬ», выбираем место для сохранения, например диск D, в ответ программа выдаст следующее сообщение (рис. 5).

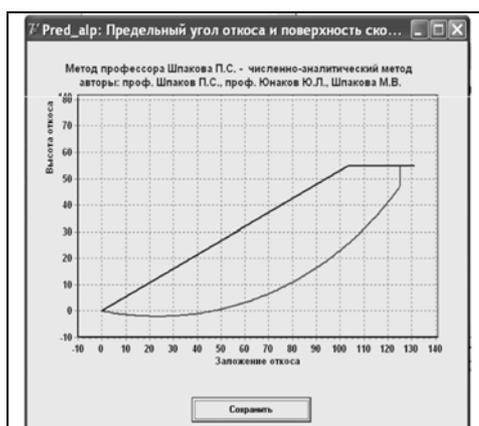


Рис. 4. Построение предельного откоса и поверхности скольжения

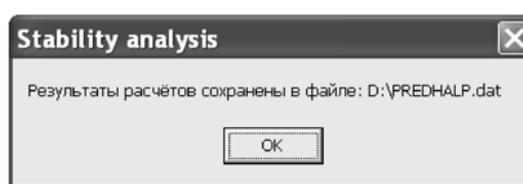


Рис. 3. Результат сохранения расчетов

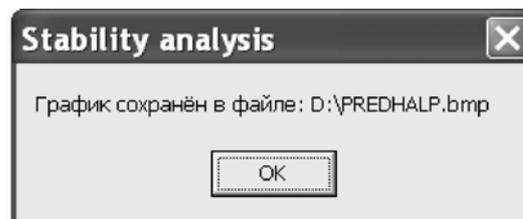


Рис. 5. Результат сохранения построения

1. ПРЕДЕЛЬНАЯ ВЫСОТА (PRED_H) – определяет предельную высоту откоса H и ширину призмы возможного обрушения B для заданных физико-механических характеристик массива и проектного угла α (предельного) откоса.

Для того, чтобы программа начала расчет нажимаем кнопку «РАСЧИТАТЬ ПАРАМЕТРЫ», в окне вывода появляются расчетные данные (см. рис. 6). Сохранение результатов расчетов построения предельного откоса и для сохранения результатов построения используется методика приведенная на рис. 3, 5.

КОЭФФИЦИЕНТ ЗАПАСА УСТОЙЧИВОСТИ (PRED_N) – определяет коэффициент запаса устойчивости реального борта карьера и ширину призмы возможного обрушения для заданных геометрических параметров откоса и физико-механических характеристик массива (рис. 7).

Для работы с программой выбираем модуль «ОДНОРОДНЫЙ ОТКОС», выбираем вкладку «КОЭФФИЦИЕНТ



Рис. 6. Интерфейс подпрограммы PRED_N



Рис. 7. Интерфейс подпрограммы PRED_N



Рис. 8. Интерфейс подпрограммы SP01N

поля для ввода физико-механических характеристик (см. рисунок 7). Для того, чтобы программа начала расчет нажимаем кнопку «РАСЧИТАТЬ ПАРАМЕТРЫ», в окне вывода появляются расчетные данные (см. рис. 7). Сохранение результатов расчетов построения предельного откоса и для сохранения результатов построения предельного откоса и для сохранения результатов построения используется методика приведенная на рис. 3, 5.

РАСЧЕТ ПО НАПРЯЖЕНИЯМ (SP01N) – ПРОГРАММЫ PRED_N, PRED_ALP, PRED_N используется в том случае, если график зависимости $\tau = f(\sigma)$ (паспорт прочности пород) имеет прямолинейный вид. Для случая криволинейной зависимости $\tau = f(\sigma)$ используется подпрограмма SP01N (рис. 8).

Программа решает все три задачи перечисленные ранее. В частном случае программа SP01N решает эти задачи и для линейной зависимости $\tau = f(\sigma)$. Однако в этом случае целесообразней использовать программы PRED_N, PRED_ALP, PRED_N, так как подготовка исходных данных для нее проще, а затраты машинного времени на ее решение значительно меньше. Для работы с программой выбираем модуль «ОДНОРОДНЫЙ ОТКОС», выбираем вкладку «РАСЧЕТ ПО НАПРЯЖЕНИЯМ». Для ввода исходных данных

ЗАПАСА УСТОЙЧИВОСТИ». Для ввода исходных данных нажимаем кнопку «ВЕСТИ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ», перед нами появляются



Рис. 9. Интерфейс подпрограммы SPBV3



Рис. 10. Построение предельного откоса и поверхности скольжения



Рис. 11. Интерфейс подпрограммы SLABOSN

нажимаем кнопку «ВВЕСТИ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ», перед нами по-

являются поля для ввода физико-механических характеристик (см. рис. 8). Для того, чтобы программа начала расчет нажимаем кнопку «РАСЧИТАТЬ ПАРАМЕТРЫ», в окне вывода появляются расчетные данные (см. рис. 8). Для того, чтобы программа начала расчет нажимаем кнопку «РАСЧИТАТЬ ПАРАМЕТРЫ», в окне вывода появляются расчетные данные (см. рис. 8). Сохранение результатов расчетов построения предельного откоса и для сохранения результатов построения используется методика приведенная на рис. 3, 5.

ВЫПУКЛЫЙ БОРТ (VIROTKOS, SPBV3) – производит расчет откоса выпуклого профиля для каждого угла откоса. Проверяет его устойчивость по ряду поверхностей как целого борта, так и его отдельных частей, в том числе с выпором и без выпора. Выбирается такой устойчивый борт карьера, при котором обеспечивается минимальный объем вскрыши (рис. 9).

Для работы с программой выбираем модуль «ОДНОРОДНЫЙ ОТКОС», выбираем вкладку «ВЫПУКЛЫЙ БОРТ». Для ввода исходных данных нажимаем кнопку «ВВЕСТИ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ», перед нами появляются поля для ввода физико-механических характеристик (см. рис. 9). Для того,

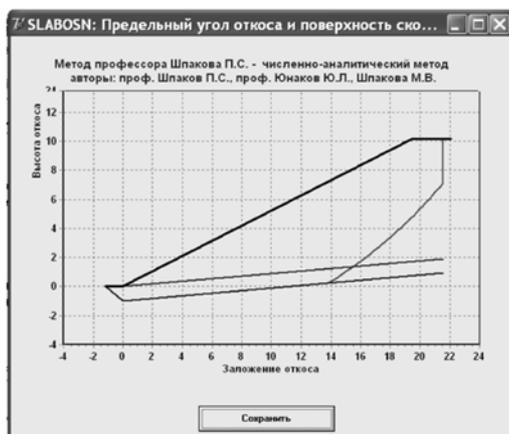


Рис. 12. Построение предельного откоса и поверхности скольжения

чтобы программа начала расчет нажимаем кнопку «РАСЧИТАТЬ ПАРАМЕТРЫ», в окне вывода появляются расчетные данные (см. рис. 9). Для того, чтобы программа начала расчет нажимаем кнопку «РАСЧИТАТЬ ПАРАМЕТРЫ», в окне вывода появляются расчетные данные (см. рис. 9). Сохранение результатов расчетов построения предельного откоса и для сохранения результатов построения используется методика приведенная на рис. 3-5. Разница будет только в форме графика, который приведен на рис. 10.

Модуль «**СЛАБЫЙ СЛОЙ**» включает в себя пять подпрограмм:

1. **ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД (SLABOSN)** – в зависимости от поставленной цели программа позволяет решить следующие две задачи: а) с учетом заданных расчетных физико-механических характеристик пород массива и слабого слоя, угла откоса, угла наклона и мощности слабого слоя определяют предельную высоту устойчивого откоса и ширину призмы возможного обрушения; б) для задан-

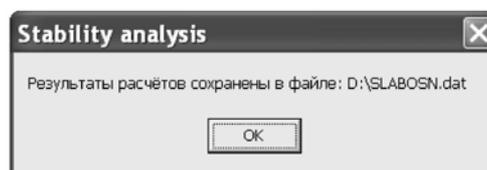


Рис. 13. Результат сохранения расчетов

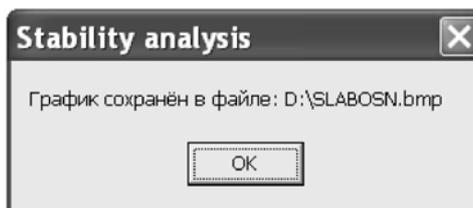


Рис. 14. Результат сохранения построения

ной высоты откоса с углом наклона, заданных физико-механических характеристиках массива и слабого слоя определяет минимальный коэффициент запаса устойчивости. Расчет ведется численно-аналитическим методом. Для работы с программой выбираем модуль «**СЛАБЫЙ СЛОЙ**», выбираем вкладку «**ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД**». Для ввода исходных данных нажимаем кнопку «**ВВЕСТИ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ**», перед нами появляются поля для ввода физико-механических характеристик (см. рис. 11).

Для того, чтобы программа начала расчет нажимаем кнопку «РАСЧИТАТЬ ПАРАМЕТРЫ», в окне вывода появляются расчетные данные (см. рис. 11). Для сохранения расчетов нажимаем на кнопку «СОХРАНИТЬ РАСЧЕТЫ», выбираем место для сохранения, например диск D, в ответ программа выдаст сообщение (рис. 13).

Для построения предельного откоса нажимаем кнопку «ПОСТРОИТЬ ПРЕДЕЛЬНЫЙ ОТКОС», программа выдает результаты построения (рис. 12).



Рис. 15. Интерфейс подпрограммы SLABOSN_N

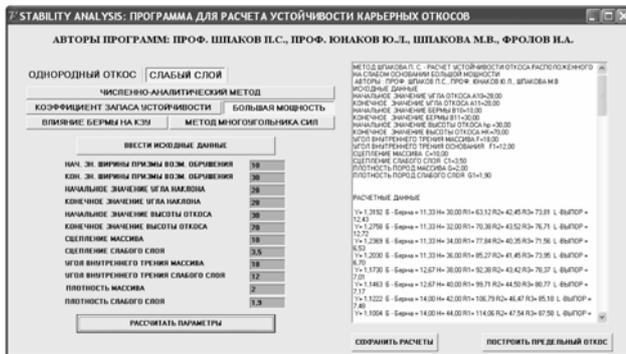


Рис. 16. Интерфейс подпрограммы SPB22



Рис. 17. Построение предельного откоса и поверхности скольжения

Для сохранения результатов построения нажимаем кнопку «СОХРАНИТЬ», выбираем место для сохранения, например диск D, в ответ программа выдаст следующее сообщение (рис. 14).

2. КОЭФФИЦИЕНТ ЗАПАСА УСТОЙЧИВОСТИ (SLABOSN_N) – определение коэффициента запаса устойчивости реального борта.

Для работы с программой выбираем модуль «СЛАБЫЙ СЛОЙ», выбираем вкладку «КОЭФФИЦИЕНТ ЗАПАСА УСТОЙЧИВОСТИ». Для ввода исходных данных нажимаем кнопку «ВВЕСТИ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ», перед нами появляются поля для ввода физико-механических характеристик (см. рис. 15). Для того, чтобы программа начала расчет нажимаем кнопку «РАСЧИТАТЬ ПАРАМЕТРЫ», в окне вывода появляются расчетные данные (см. рис. 15).

Сохранение результатов расчетов построения предельного откоса и для сохранения результатов построения используется методика приведенная на рисунках 12-14.

3. БОЛЬШАЯ МОЩНОСТЬ (SPB22) – в зависимости от поставленной цели программа позволяет решить следующие две задачи: а) с помощью заданных расчетных физико-механических характеристик пород массива, слабого слоя и угла откоса определяет предель-



Рис. 18. Интерфейс подпрограммы SPOSN10

ную высоту устойчивого откоса и ширину призмы возможного обрушения, или для заданной высоты откоса с углом наклона находит минимальный коэффициент запаса устойчивости; б) с помощью заданных расчетных физико-механических характеристик пород массива, слабого слоя и проектной высоты откоса определяет предельный угол откоса и ширину призмы возможного обрушения, или находит минимальный коэффициент запаса устойчивости для любого заданного угла откоса. Для работы с программой выбираем модуль «СЛАБЫЙ СЛОЙ», выбираем вкладку «БОЛЬШАЯ МОЩНОСТЬ». Для ввода исходных данных нажимаем кнопку «ВЕСТИ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ», перед нами появляются поля для ввода физико-механических характеристик (рис. 16).

Для того, чтобы программа начала расчет нажимаем кнопку «РАСЧИТАТЬ ПАРАМЕТРЫ», в окне вывода появляются расчетные данные (см. рис. 16). Сохранение результатов расчетов построения предельного откоса и для сохранения результатов построения используется методика приведенная на рис. 12-14. Кроме рисунка, где показано построение предельного откоса и поверхности

скольжения для откоса расположенного на слабом основании на слабом основании большой мощности (рис. 17).

ВЛИЯНИЕ БЕРМЫ НА КЗУ (SPOSN10) – в зависимости от поставленной цели программа позволяет решить следующие две задачи: а) с учетом заданных расчетных физико-механических характеристик пород массива и слабого слоя, угла откоса, угла наклона и мощности слабо-

го слоя определяет предельную высоту устойчивого откоса и ширину призмы возможного обрушения; б) для заданной высоты откоса с углом наклона, заданных физико-механических характеристиках массива и слабого слоя определяет минимальный коэффициент запаса устойчивости. Расчет ведется численно-аналитическим методом. Для работы с программой выбираем модуль «СЛАБЫЙ СЛОЙ», выбираем вкладку «ВЛИЯНИЕ БЕРМЫ НА КЗУ». Для ввода исходных данных нажимаем кнопку «ВЕСТИ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ», перед нами появляются поля для ввода физико-механических характеристик (см. рис. 18). Для того, чтобы программа начала расчет нажимаем кнопку «РАССЧИТАТЬ ПАРАМЕТРЫ», в окне вывода появляются расчетные данные (см. рис. 18).

Сохранение результатов расчетов, построение предельного откоса используется методика приведенная на рис. 12-14.

МЕТОД МНОГОУГОЛЬНИКА СИЛ (SPOSN12) – определяет предельную высоту откоса и ширину призмы возможного обрушения для заданных физико-механических характеристик массива и слабого основания (рис. 19).



Рис. 19. Интерфейс подпрограммы SPOSN12

Для работы с программой выбираем модуль «СЛАБЫЙ СЛОЙ», выбираем вкладку «МЕТОД МНОГОУГОЛЬНИКА СИЛ». Для ввода ис-

ходных данных нажимаем кнопку «ВВЕСТИ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ», перед нами появляются поля для ввода физико-механических характеристик (см. рис. 19). Для того, чтобы программа начала расчет нажимаем кнопку «РАСЧИТАТЬ ПАРАМЕТРЫ», в окне вывода появляются расчетные данные (см. рис. 19). Сохранение результатов расчетов построения предельного откоса и для сохранения результатов построения используется методика приведенная на рис. 12-14.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шпакова М.В. Оценка устойчивости откоса на слабом Наклонном основании. Горный информационно-аналитический бюллетень. ГИАБ 10, 2009, С. 85-91.
2. Шпаков П.С., Юнаков Ю.Л. Расчет устойчивости карьерных откосов. Учебное пособие/ Красноярск, 2006 ..202 с.: ил.
3. Попов В.Н., Шпаков П.С., Юнаков Ю.Л. Управление устойчивостью карьерных откосов. Учебник для вузов. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, издательство «Горная книга», 2008. - 683 с.: ил. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Шпаков Петр Сергеевич – профессор, доктор технических наук, Муромский институт Влад. гос. университета, SPSP01@rambler.ru или SPSP01@mail.ru .
Юнаков Юрий Леонидович – профессор, кандидат технических наук, заведующий кафедры маркшейдерского дела Сибирского Федерального университета. Институт горного дела геологии и геотехнологий, yunakov11@rambler.ru.
Шпакова Мария Владимировна – аспирант, кафедра маркшейдерского дела Сибирского Федерального университета. Институт горного дела геологии и геотехнологий, SPSP01@rambler.ru или SPSP01@mail.ru

