

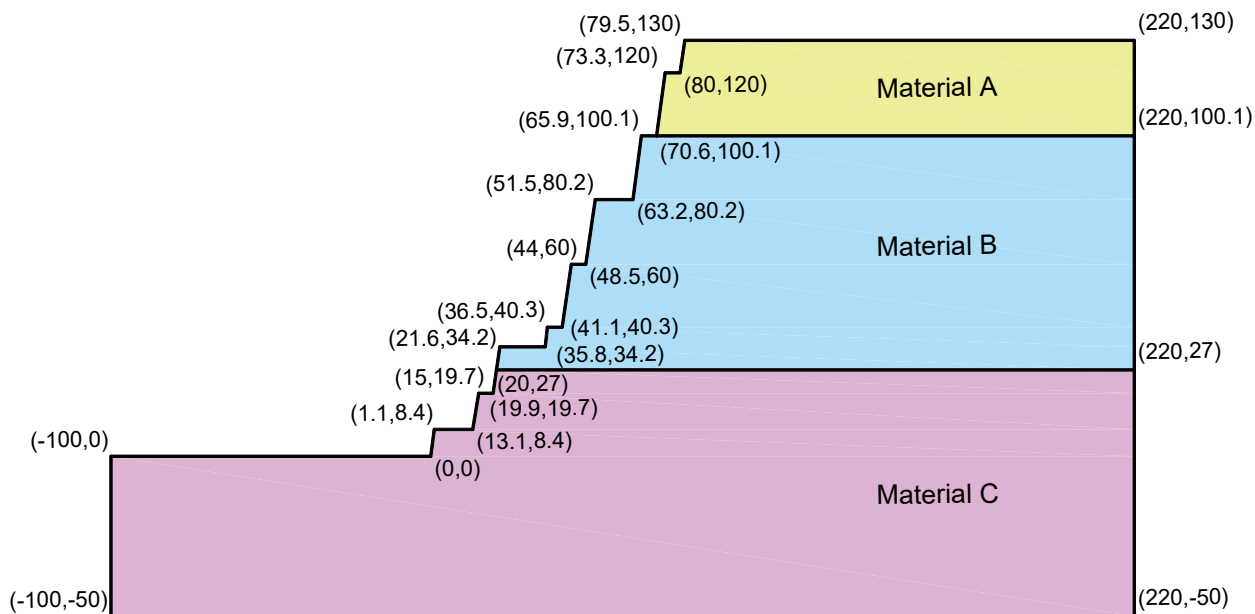
# Оценка устойчивости откоса с применением модели Хука-Брауна (Hoek-Brown)

Автор: [Roozbeh Geraili Mikola, PhD, PE](#)

Перевод: [Stanislav Vagin](#)

Email: [hyrcan4geo@outlook.com](mailto:hyrcan4geo@outlook.com)

Сайт: [www.geowizard.org](http://www.geowizard.org)



Этот пример демонстрирует использование **HYRCAN** при оценке устойчивости откоса с применением обобщенной модели Хука-Брауна (Hoek-Brown)

## Настройки проекта

Различные важные параметры моделирования и анализа собраны в окне **Настройки проекта** [Project Settings dialog]. Такие как **Направление разрушения** [Failure Direction], **Единицы измерения**, [Units of Measurement], **Методы расчета** [Analysis Methods] и **Свойства грунтовых вод** [Groundwater property]. Для данного анализа измените **направление разрушения** [failure direction] на “Справа налево” [“Right to Left”] затем нажмите **Применить** [Apply]..

Выберите: *Модель*  
[Analysis] →



Настройки проекта [Project Settings]

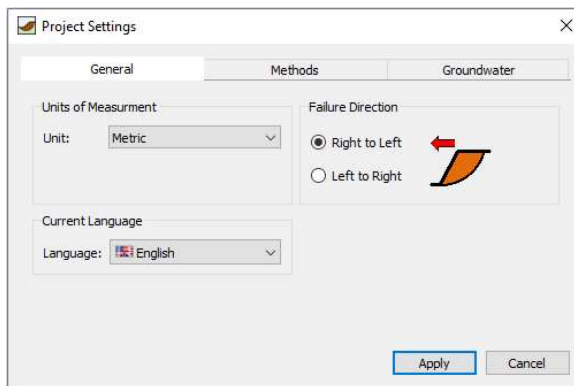


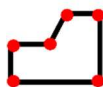
Рисунок 1 - Окно настройки проекта [Project Settings].

## Создание геометрии

- **Внешние границы [External Boundaries]**

Для каждой модели сначала надо создать внешние границы [External Boundary]. Чтобы добавить внешние границы, выберите Внешние границы [External Boundary] на панели инструментов или в меню Геометрия [Geometry].

Выберите: *Геометрия*  
[Geometry] →



*Внешние границы [External Boundary]*

Введите следующие координаты в строке ввода в нижней правой части окна программы.

Введите вершину [esc=отмена]: -100 0	Введите вершину [с=замкнуть, esc=отмена]: 44 60
Введите вершину [esc=отмена]: -100 -50	Введите вершину [с=замкнуть, esc=отмена]: 41.1 40.3
Введите вершину [esc=отмена]: 220 -50	Введите вершину [с=замкнуть, esc=отмена]: 36.5 40.3
Введите вершину [с=замкнуть, esc=отмена]: 220 130	Введите вершину [с=замкнуть, esc=отмена]: 35.8 34.2
Введите вершину [с=замкнуть, esc=отмена]: 80 130	Введите вершину [с=замкнуть, esc=отмена]: 21.6 34.2
Введите вершину [с=замкнуть, esc=отмена]: 78 120	Введите вершину [с=замкнуть, esc=отмена]: 19.5 19.7
Введите вершину [с=замкнуть, esc=отмена]: 73.3 120	Введите вершину [с=замкнуть, esc=отмена]: 15 19.7
Введите вершину [с=замкнуть, esc=отмена]: 70.6 100.1	Введите вершину [с=замкнуть, esc=отмена]: 13.1 8.4
Введите вершину [с=замкнуть, esc=отмена]: 65.9 100.1	Введите вершину [с=замкнуть, esc=отмена]: 1.1 8.4
Введите вершину [с=замкнуть, esc=отмена]: 63.2 80.2	Введите вершину [с=замкнуть, esc=отмена]: 0 0
Введите вершину [с=замкнуть, esc=отмена]: 51.5 80.2	Введите вершину [с=замкнуть, esc=отмена]: с
Введите вершину [с=замкнуть, esc=отмена]: 48.5 60	

Обратите внимание, ввод “с” после ввода координат последней вершины, автоматически соединяет первую и последнюю вершины (замыкают границы), и выходит из команды **Внешние границы [External Boundary]**. Теперь окно программы выглядит так:

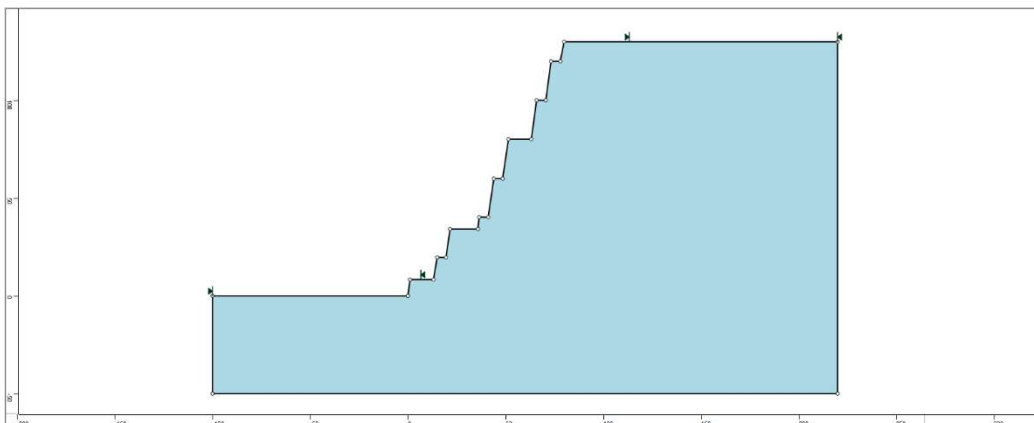


Рисунок 2- Созданы внешние границы.

- **Границы материалов [Material Boundaries]**

Границы материалов [Material Boundaries] используются в **HYRCAN** для определения границ между зонами разных материалов внутри **Внешних границ [External Boundary]**. Давайте добавим две границы материалов.

Выберите: *Геометрия*  
 [Geometry] →



*Границы Материалов [Material Boundary]*

Введите следующие координаты в строку ввода в нижней правой части главного окна.

Введите вершину [esc=отмена]: 70.6 100.1  
 Введите вершину [d=закончить, esc=отмена]: 220 100.1  
 Введите вершину [d=закончить, esc=отмена]: d

И повторите ввод следующих координат:

Введите вершину [esc=отмена]: 20 27  
 Введите вершину [d=закончить, esc=отмена]: 220 27  
 Введите вершину [d=закончить, esc=отмена]: d

Теперь окно программы выглядит так:

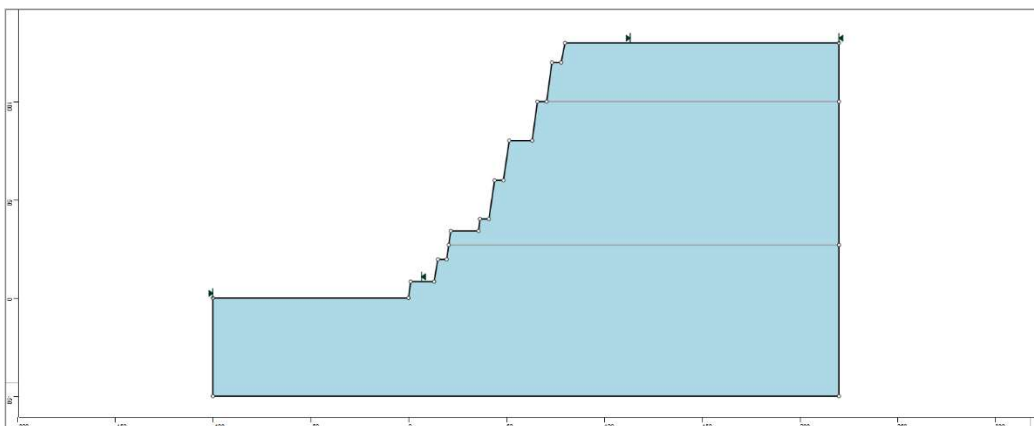
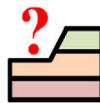


Рисунок 3- Заданы внешние границы и границы материалов

## Материалы [Properties]

Пришло время определить свойства материалов. Выберите **Свойства материалов** [Define Materials] на панели инструментов или в меню **Материалы** [Properties].

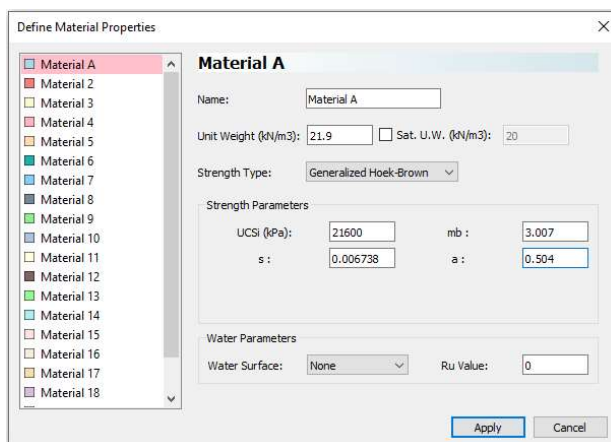
Выберите: *Материалы* [Properties] →



*Свойства материалов* [Define Materials]

Материал	Удельный вес [Unit Weight] (kN/m <sup>3</sup> )	$\sigma_c$ (MPa)	Параметр $mb$	Параметр $s$	Параметр $a$
<b>A</b>	21.9	21.6	3.007	$6.738 \times 10^{-3}$	0.5040
<b>B</b>	23.8	73.2	4.611	$6.738 \times 10^{-3}$	0.5040
<b>C</b>	23.8	73.2	3.857	$6.866 \times 10^{-3}$	0.5057

Для первого (по умолчанию выделенного материала) в окне **Свойства материалов** [Define Materials] выберите модель материала “Обобщенный Хоек-Браун” [“Generalized Hoek-Brown”] и введите параметры, указанные выше.



Define Material Properties

**Material A**

Name: Material A

Unit Weight (kN/m<sup>3</sup>): 21.9  Sat. U.W. (kN/m<sup>3</sup>): 20

Strength Type: Generalized Hoek-Brown

Strength Parameters:

UCSI (kPa): 21600      mb : 3.007

s : 0.006738      a : 0.504

Water Parameters:

Water Surface: None      Ru Value: 0

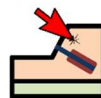
Apply      Cancel

Когда будут введены все параметры для первого материала, выберите второй и третий, заполняя их свойства соответственно материалам B и C. После завершения нажмите кнопку **Применить** [Apply].

## Назначение материалов

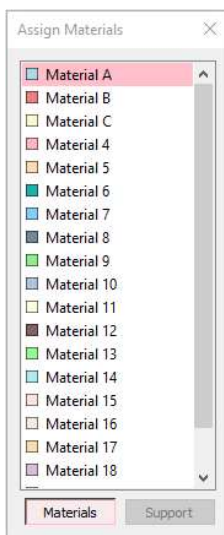
Так как мы определили более одного материала, необходимо назначить свойства материалов на каждую область модели, используя команду **Назначить материал** [Assign Properties]. Выберите **Назначить материал** [Assign Properties] на панели инструментов или в меню **Материалы** [Properties].

Выберите: *Материалы* [Properties] →



*Назначить материал* [Assign Properties]

Появится окно Назначить материал [Assign Materials] как показано ниже.



Чтобы назначить материал нужно всего лишь два клика мышки:

1. Используйте мышку, чтобы выбрать материал в окне **Назначить материал** [Assign Properties] (обратите внимание, что имена материалов такие же как Вы задали их в окне **Определить материал** [Define Material Properties])
2. Теперь переместите курсор в любую область грунта и нажмите левую кнопку мыши. Повторите действия для каждого материала

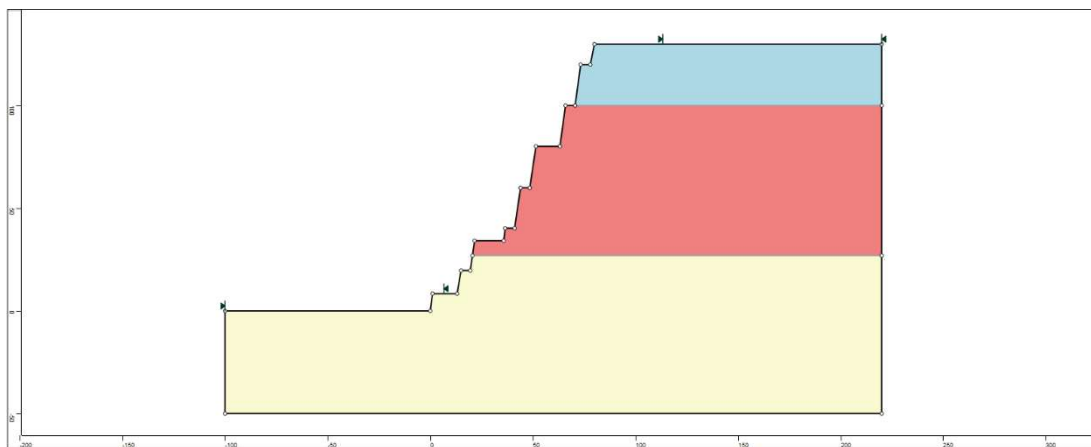


Рисунок 4- Вид модели после назначения материалов.

## Расчет

Теперь модель готова к расчету.

Выберите: *Модель [Analysis]* →



*Расчет [Compute]*

Решатель перейдет к расчету. После завершения расчета можно посмотреть результаты на вкладке **Результаты** [Result Tab].

## Анализ результатов расчета

Когда расчет завершится, можно посмотреть результаты на вкладке **Результаты** [Result]. При открытии вкладки **Результаты** [Result], по умолчанию отображается граница скольжения, вычисленная по упрощенному методу Бишопа. В итоге получилось 5000 пробных поверхностей. Результат вычисления коэффициента устойчивости показан на рисунке 5. В Таблице 1 представлены результаты сравнения вычисления коэффициента устойчивости этой модели, используя другие коммерческие программы.

Таблица 1- Сравнительная таблица вычисления коэффициента устойчивости

Метод	Slide2	HYRCAN
Упрощенный Бишопа	3.762	3.744

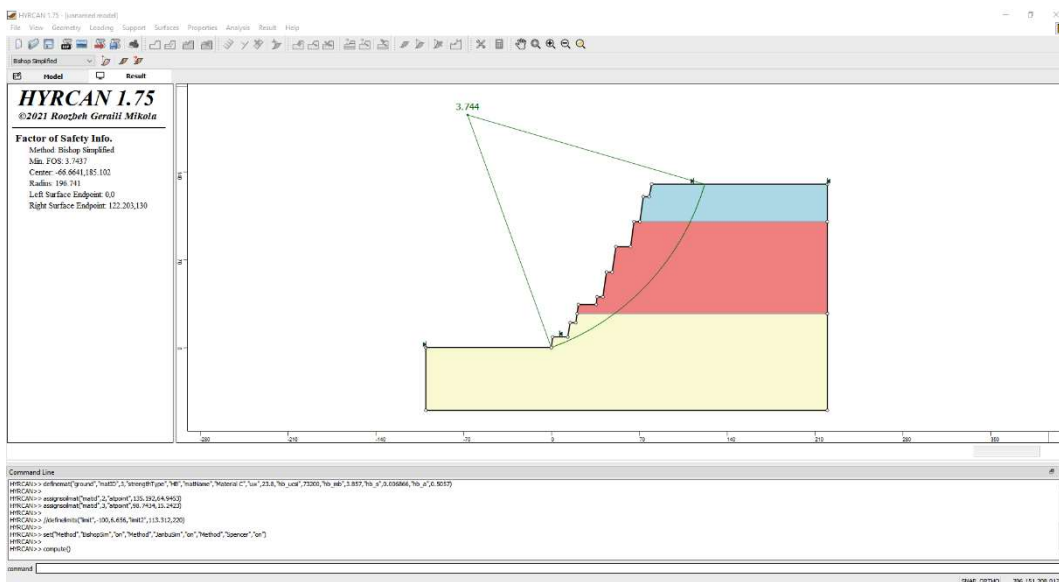



Рисунок 5- Результат автоматического поиска поверхности скольжения.

Чтобы увидеть все поверхности скольжения, вычисленные программой, выберите опцию **Все поверхности** [All Surfaces] на панели инструментов или в меню **Результаты** [Results].

Выберите: *Результаты* [Result] →  *Все поверхности* [All Surfaces]

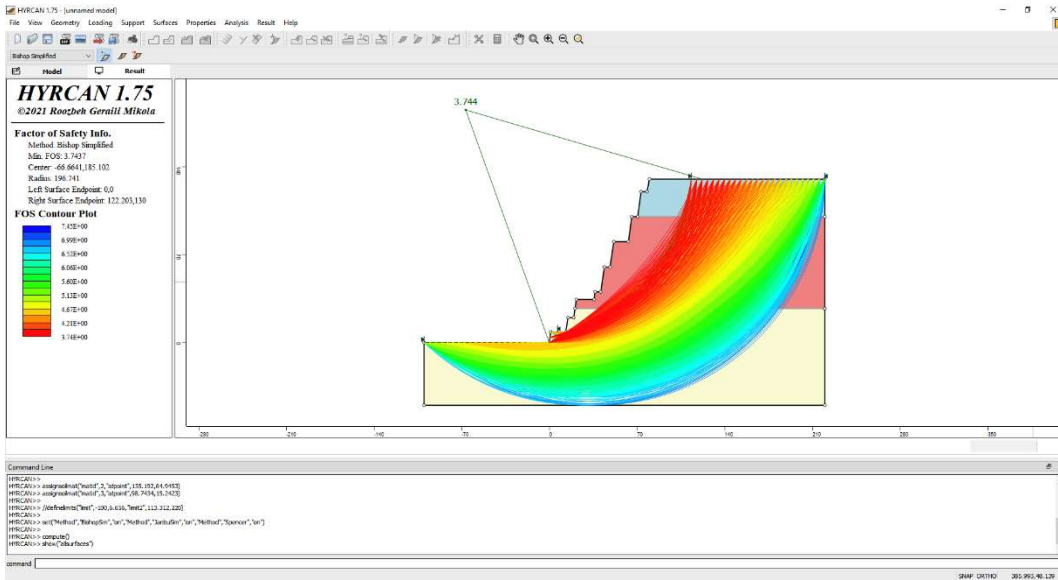



Рисунок 9- Найденные круглоцилиндрические поверхности скольжения – показаны все.

Опция **Показать участки** [Show Slices] позволяет показать участки, использованные в расчете.

Выберите: *Результаты* [Result] →  *Показать участки* [Show Slices]

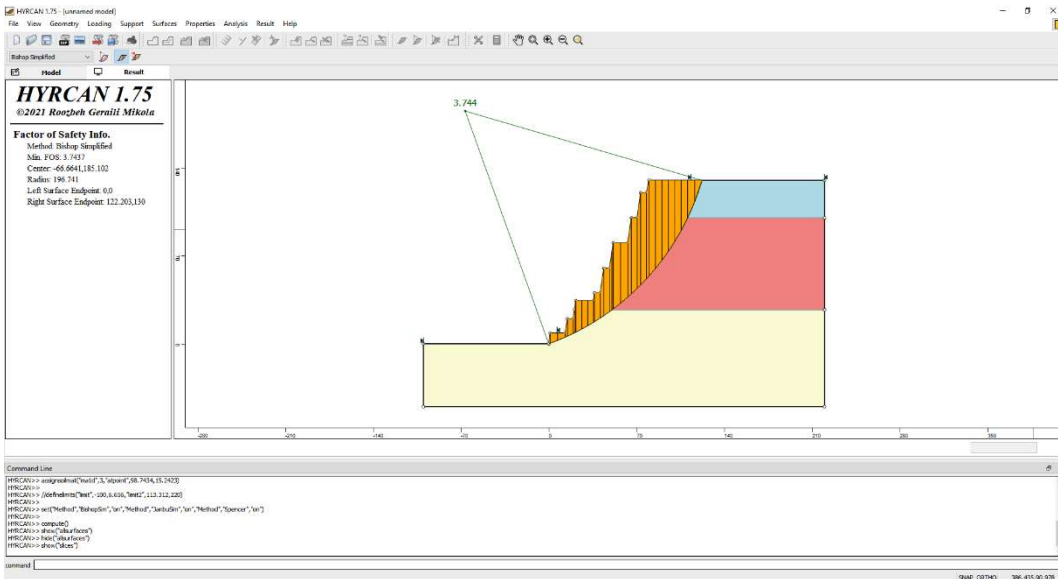


Рисунок 7- Отображение участков.

## Скрипт

После завершения создания модели будет доступен для сохранения в текстовый файл, сгенерированный **HYRCAN** скрипт.

Выберите:



Ниже приведены команды для данного примера.

```
newmodel()

set("failureDir","r21")

extboundary(-100,0,-100,-50,220,-
50,220,130,80,130,78,120,73.3,120,70.6,100.1,65.9,100.1,63.2,80.2,51.5,80.2,48.5,60,44,60,41.1,40
.3,36.5,40.3,35.8,34.2,21.6,34.2,19.5,19.7,15,19.7,13.1,8.4,1.1,8.4,0,0,-100,0)

matboundary(70.6,100.1,220,100.1)

matboundary(20,27,220,27)

definemat("ground","matID",1,"strengthType","HB","matName","Material
A","uw",21.9,"hb_ucsi",21600,"hb_mb",3.007,"hb_s",0.006738,"hb_a",0.504)
definemat("ground","matID",2,"strengthType","HB","matName","Material
B","uw",23.8,"hb_ucsi",73200,"hb_mb",4.611,"hb_s",0.006738,"hb_a",0.504)
definemat("ground","matID",3,"strengthType","HB","matName","Material
C","uw",23.8,"hb_ucsi",73200,"hb_mb",3.857,"hb_s",0.006866,"hb_a",0.5057)

assignsoilmat("matid",2,"atpoint",135.192,64.9453)
assignsoilmat("matid",3,"atpoint",98.7434,15.2423)

compute()
```