

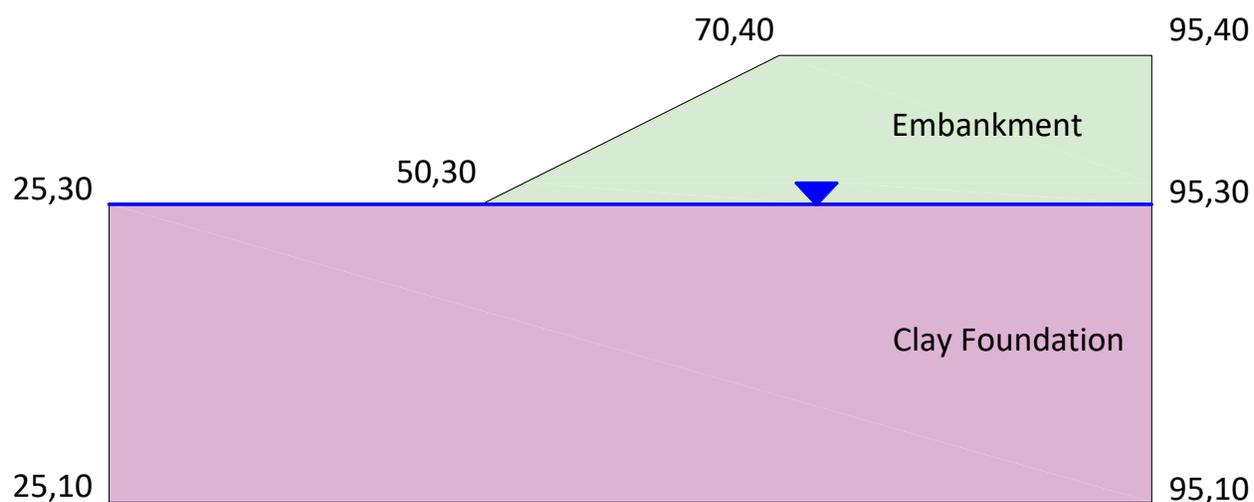
# Устойчивость насыпи на глиняном основании с использованием модели SHANSEP

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)



В этом примере рассматривается анализ устойчивости насыпи на глиняном основании в **HYRCAN**. Глиняное основание моделируется с помощью критерия прочности SHANSEP. Для моделирования материала насыпи используется модель Мора-Кулона [Mohr-Coulomb].

## Настройки проекта

Различные важные параметры моделирования и анализа собраны в диалоговом окне **Настройки проекта** [Project Settings]. Такие как **Направление разрушения** [Failure Direction], **Единицы измерения** [Units of Measurement], **Методы расчета** [Analysis Methods] и **Свойства грунтовых вод** [Groundwater property]. В данном расчете убедитесь, что **Направление разрушения** [Failure Direction] установлено “**Справа налево**” [“Right to Left”] после чего нажмите кнопку **Применить** [Apply]. На вкладке **Методы** [Methods] можно настроить параметры сходимости для метода(ов), используемых в расчете.

Выберите: *Модель [Analysis]* →



*Настройки проекта [Project Settings]*

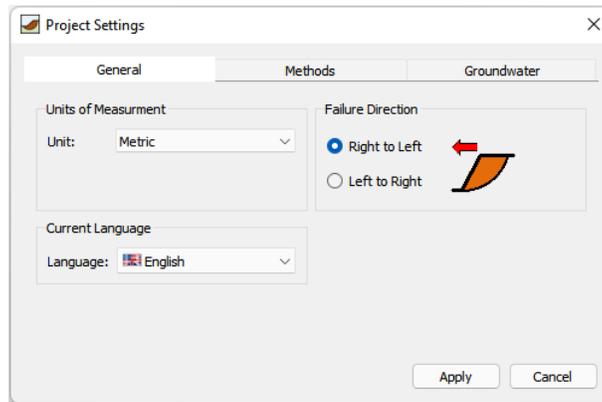


Рисунок 1- Окно Настройки проекта [Project Settings].

## Создание геометрии

- **External Boundaries**
- В каждой новой модели сначала нужно определить внешние границы. Чтобы добавить внешние границы, выберите **Добавить внешние границы** [Add External Boundary] на панели инструментов или в меню **Геометрия** [Geometry].

Выберите: *Геометрия* [Geometry] →  *Внешние границы* [External Boundary]

Введите следующие координаты в командной строке в правой нижней части главного окна.

```
Enter vertex [esc=cancel]: 25.0,10.0
Enter vertex [esc=cancel]: 95.0,10.0
Enter vertex [esc=cancel]: 95.0,40.0
Enter vertex [c=close,esc=cancel]: 70.0,40.0
Enter vertex [c=close,esc=cancel]: 50.0,30.0
Enter vertex [c=close,esc=cancel]: 25.0,30.0
Enter vertex [c=close,esc=cancel]: c
```

Обратите внимание, ввод “с” после указания последней вершины, автоматически соединяет первую и последнюю вершины (закрывает границу) и завершает команду **Добавить внешнюю границу** [Add External Boundary]. Теперь окно программы выглядит как на рисунке ниже:

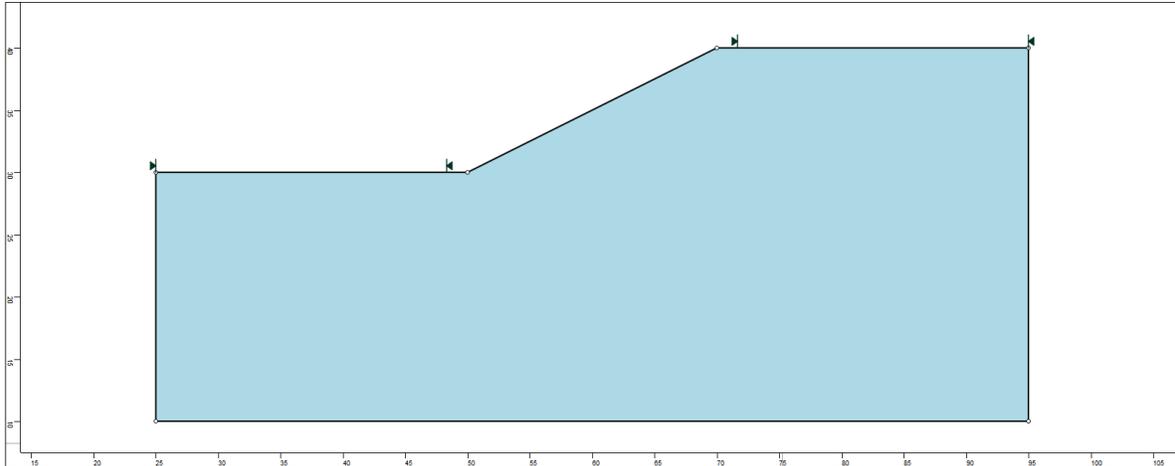


Рисунок 2- Созданы внешние границы.

- **Границы материалов [Material Boundaries]**

Границы материалов используются в **HYRCAN** для определения границ областей разных материалов в пределах внешних границ [External Boundary]. Давайте добавим две границы материалов.

Выберите: *Геометрия* [Geometry] →  *Границы материалов* [Material Boundary]

Введите следующие координаты в командной строке в правой нижней части главного окна.

```
Enter vertex [esc=cancel]: 50.0,30.0
Enter vertex [d=done,esc=cancel]: 95.0,30.0
Enter vertex [d=done,esc=cancel]: d
```

Теперь экран программы выглядит так:

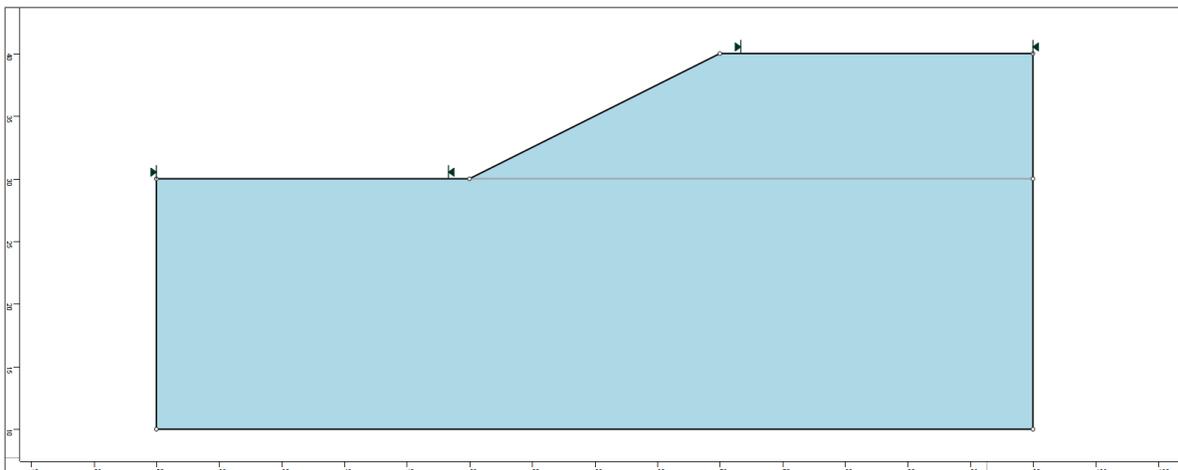


Рисунок 3- Созданы внешние границы и границы материалов.

- **Задание уровня грунтовых вод**

Выберите: *Геометрия* →



Уровень грунтовых вод [Water Table]

Введите следующие координаты в командной строке в правой нижней части главного окна.

```
Enter vertex [esc=cancel]: 25.0,30.0
Enter vertex [d=done,esc=cancel]: 95.0,30.0
Enter vertex [d=done,esc=cancel]: d
```

Теперь окно программы выглядит так:

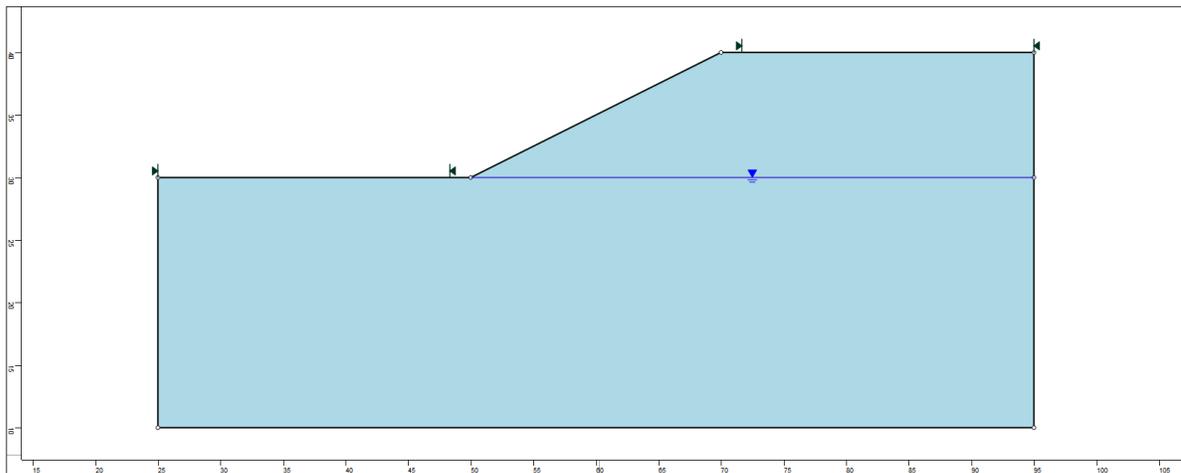


Рисунок 4- Установлен уровень грунтовых вод.

## Свойства материалов

Материал насыпи рассматривается как свободно дренирующий (т.е., песок). Недренированная прочность глиняного основания будет описана с помощью модели прочности SHANSEP. Исследование продемонстрирует, что недренированная прочность нормально консолидированных глиняных грунтов может быть представлена как константа, описываемая выражением  $S_u/\sigma'_v = constant$ . Недренированная прочность нормируется относительно эффективного вертикального геостатического напряжения. Для грунта, подверженного такому нагружению, уравнение, описывающее недренированную сдвиговую прочность записывается в следующем виде.

$$\tau = A + \sigma'_v S (OCR)^m$$

где:

$\tau$  = недренированная сдвиговая прочность

$A$  = минимальная недренированная сдвиговая прочность

$\sigma'_v$  = эффективное вертикальное напряжение (in situ)

$S$  = коэффициент нормальной консолидации  $\left(\frac{\tau}{\sigma'_v}\right)_{nc}$

$OCR$  = коэффициент переуплотнения

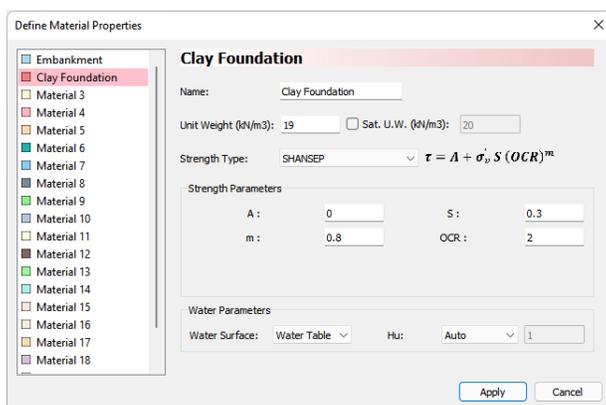
$m$  = показатель степени, обычно в пределах от 0.75 до 1

Настало время задать свойства наших материалов. Выберите **Свойства материалов** [Define Materials] на панели инструментов или в меню **Материалы** [Properties].

Выберите: *Материалы* [Properties] →  *Свойства материалов* [Define Materials]

В окне **Свойства материалов** [Define Materials Properties] введите соответствующие параметры для каждого материала:

| Материал        | Условие прочности | $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | $c$ (kN/m <sup>2</sup> ) | $\phi$ (град) | $A$ | $S$ | $m$ | $OCR$ |
|-----------------|-------------------|-------------------------------|--------------------------|---------------|-----|-----|-----|-------|
| Embankment      | Mohr-Coulomb      | 20                            | 5.0                      | 30.0          | -   | -   | -   | -     |
| Clay Foundation | SHANSEP           | 19                            | -                        | -             | 0   | 0.3 | 0.8 | 2     |



После ввода всех параметров для каждого материала нажмите кнопку **Применить** [Apply].



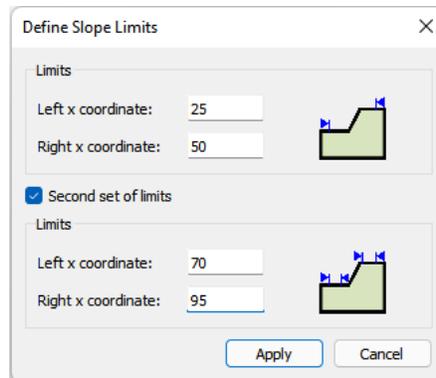
## Изменение границ склона

Границы склона автоматически высчитываются **HYRCAN** после того, как будут созданы **внешние границы** [External Boundaries]. При необходимости можно изменить границы склона с помощью окна **Определение границ** [Define Limits]

Выберите: *Поверхности*  
[Surfaces] →



*Задать границы склона* [Define Slope Limits]



В этом примере левая и правая координаты заданы 25 и 50, а левая и правая координаты вторых границ заданы 70 и 95. Впоследствии, уточнением границ склона можно более точно определять минимальную поверхность скольжения. На данный момент создание модели завершено и можно приступить к запуску расчета и оценке результатов.

## Расчет

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 первому активированному методу расчета. В итоге получилось 5000 пробных поверхностей. Результат вычисления коэффициента устойчивости показан на рисунке 6. В Таблице 1 представлено сравнение полученных результатов расчета коэффициента устойчивости с коэффициентом устойчивости, вычисленным для подобной модели в широко известной коммерческой программе **Slide2**.

Таблица 1- Сравнение результатов расчета минимального коэффициента устойчивости

| Метод                                     | Slide2 | HYRCAN |
|---|--------|--------|
| Упрощенный Бишопа [Bishop Simplified]     | 1.459  | 1.456  |
| Моргенштерн-Прайс [GLE/Morgenstern-Price] | 1.382  | 1.379  |
| Упрощенный Ямбу [Janbu Simplified]        | 1.330  | 1.330  |
| Спенсер [Spencer]                         | 1.393  | 1.390  |

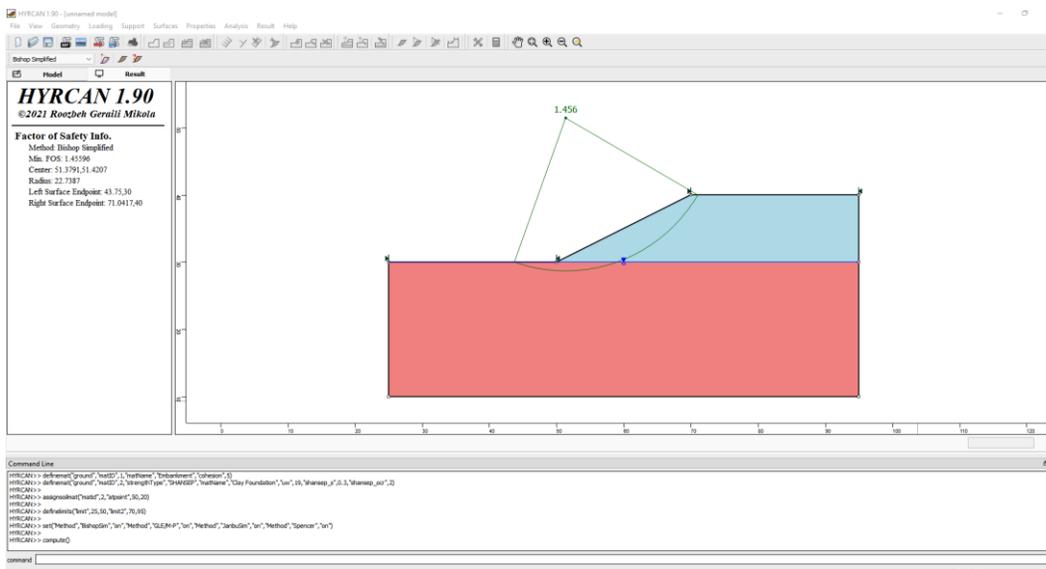


Рисунок 6- Результат автоматического поиска поверхности скольжения.

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]

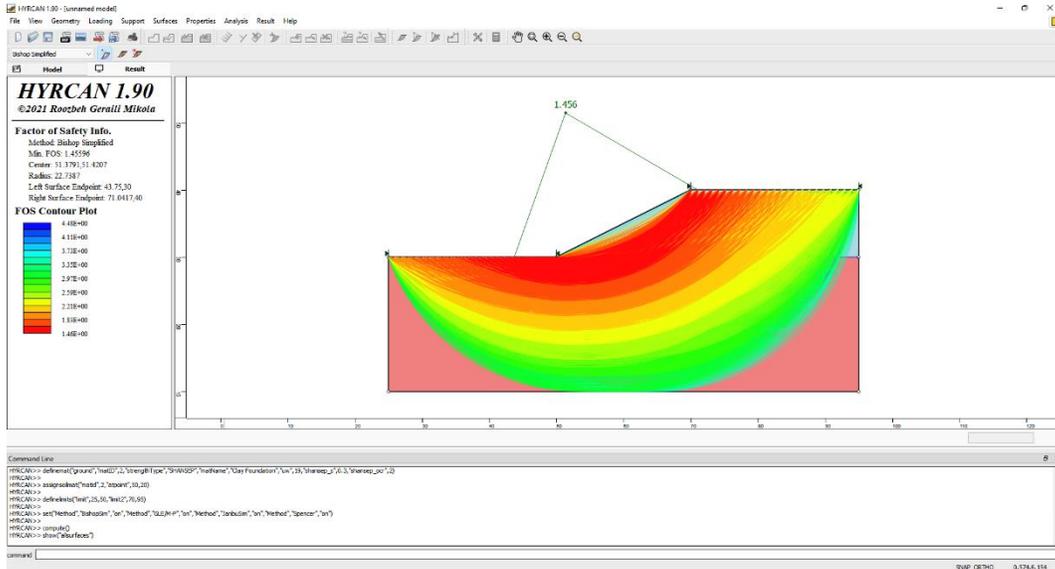


Рисунок 7- Найденные круглоцилиндрические поверхности скольжения – показаны все поверхности.

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

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

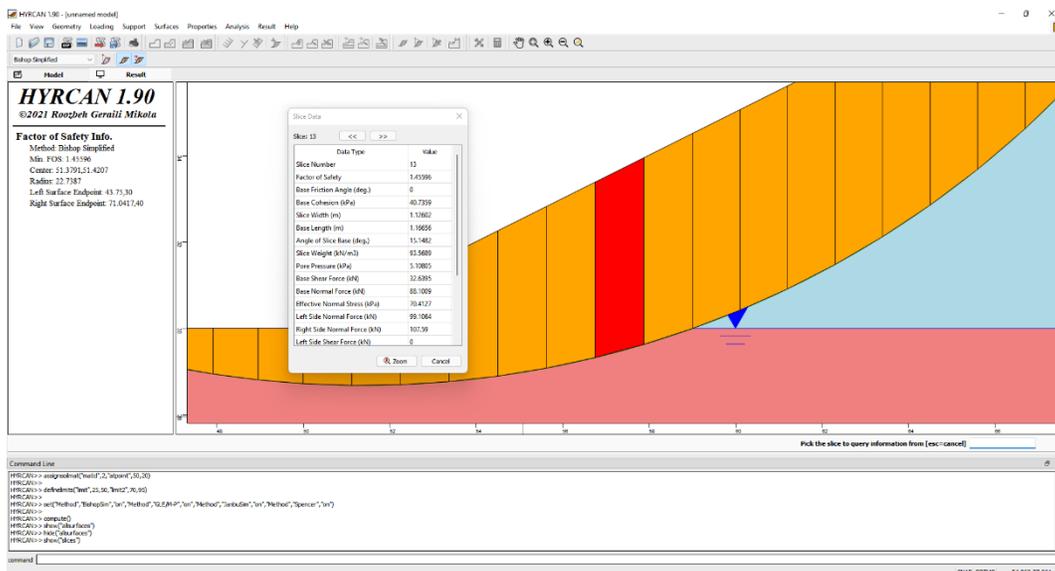


Рисунок 8- Отображение участков

## 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")

set ("unit", "metric", "waterUW", 9.81)

extboundary (25, 10, 95, 10, 95, 40, 70, 40, 50, 30, 25, 30, 25, 10)

matboundary (50, 30, 95, 30)

addwatertable (25, 30, 95, 30)

definemat ("ground", "matID", 1, "matName", "Embankment", "cohesion", 5)
definemat ("ground", "matID", 2, "strengthType", "SHANSEP", "matName", "Clay
Foundation", "uw", 19, "shansep_s", 0.3, "shansep_ocr", 2)

assignsoilmat ("matid", 2, "atpoint", 50, 20)

definelimits ("limit", 25, 50, "limit2", 70, 95)

set ("Method", "BishopSim", "on", "Method", "GLE/M-
P", "on", "Method", "JanbuSim", "on", "Method", "Spencer", "on")

compute ()
```