

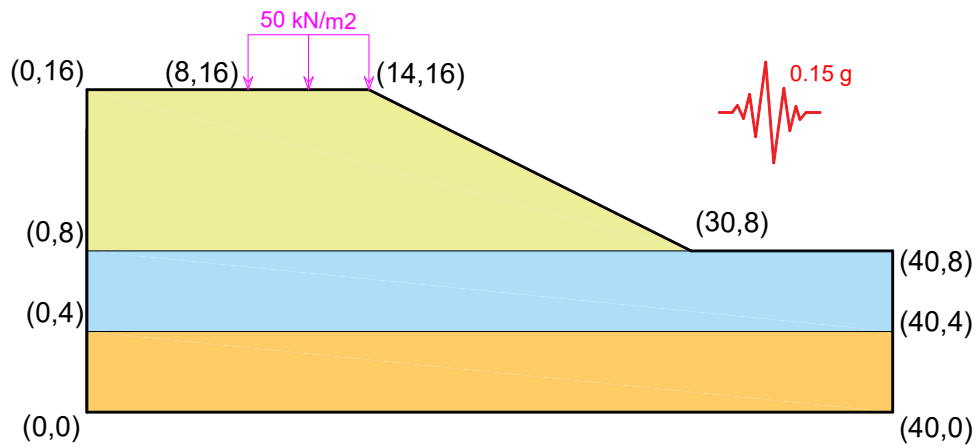
Устойчивость склона при сейсмической нагрузке

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

Перевод: [Stanislav Vagin](#)

Email: hyrcan4geo@outlook.com

Сайт: www.geowizard.org



Этот пример продемонстрирует использование **HYRCAN** для расчета коэффициента устойчивости неоднородного склона с горизонтальным сейсмическим воздействием магнитудой 0.15g. Сверху, на длине 6 м приложена равномерно распределенная нагрузка величиной 50 kN/m², как показано на рисунке выше.

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 “**Слева направо**” [“Left to Right”] затем нажмите **Применить** [Apply].

Выберите: *Модель*
[Analysis] →



Настройки проекта [Project Settings]

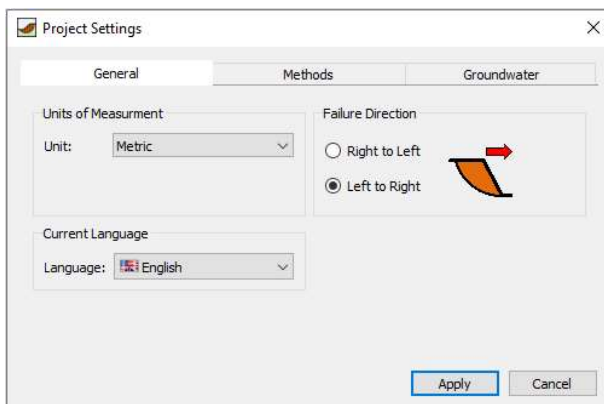


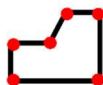
Рисунок 1- Окно настройки проекта [Project Settings].

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]: 0 0
Введите вершину [esc=отмена]: 0 16
Введите вершину [esc=отмена]: 14 16
Введите вершину [c=замкнуть,esc=отмена]: 30 8
Введите вершину [c=замкнуть,esc=отмена]: 40 8
Введите вершину [c=замкнуть,esc=отмена]: 40 0
Введите вершину [c=замкнуть,esc=отмена]: c

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:

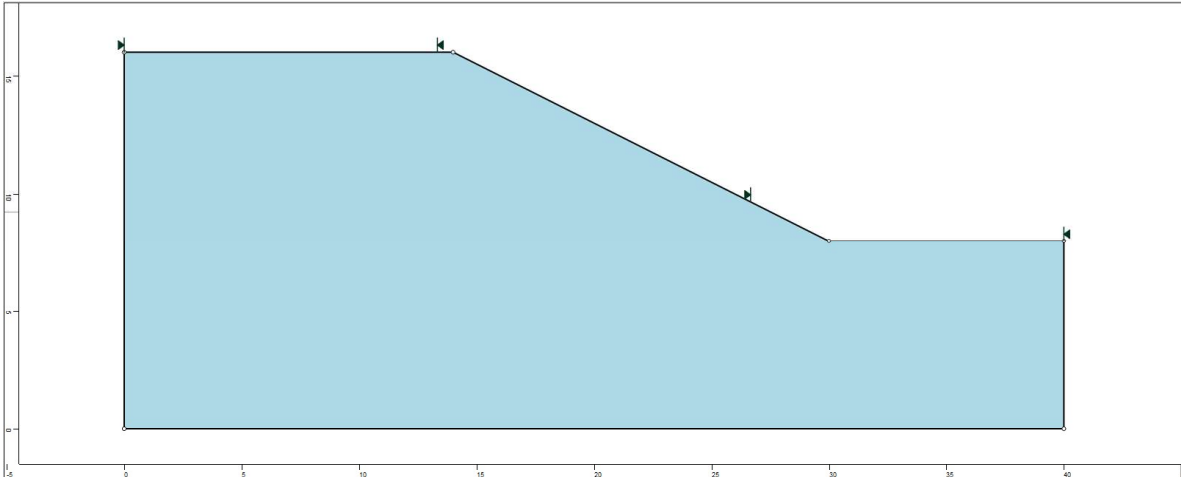


Рисунок 2- Созданы внешние границы.

- **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]: 0 8
Введите вершину [d=закончить, esc=отмена]: 30 8
Введите вершину [d=закончить, esc=отмена]: d

И повторите ввод следующих координат:

Введите вершину [esc=отмена]: 0 4
Введите вершину [d=закончить, esc=отмена]: 40 4
Введите вершину [d=закончить, esc=отмена]: d

Теперь окно программы выглядит так:

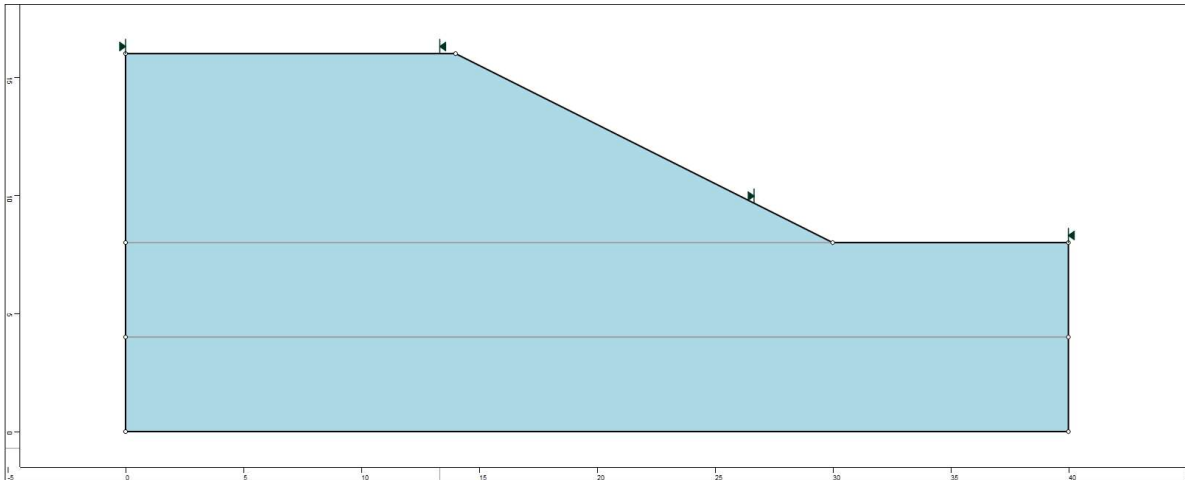
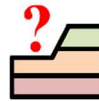


Рисунок 3- Заданы внешние границы и границы материалов

Материалы [Properties]

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

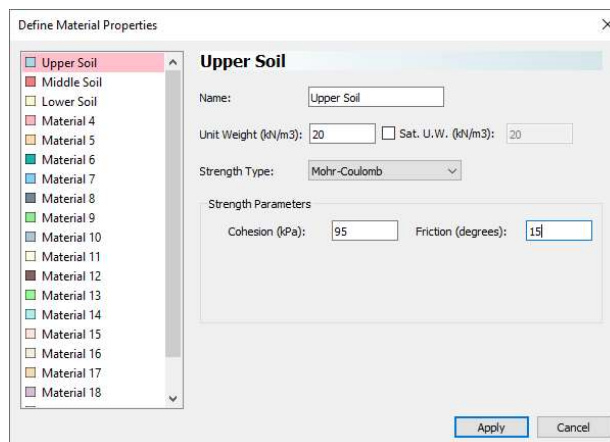
Выберите: *Материалы* [Properties] →



Свойства материалов [Define Materials]

Материал	c (kN/m ²)	φ (град)	γ (kN/m ³)
Upper Layer	95.0	15.0	20
Middle Layer	15.0	0.0	20
Lower Layer	30.0	0.0	20

Для первого (по умолчанию выделенного материала) в окне **Свойства материалов** [Define Materials] введите следующие свойства:



Define Material Properties

Upper Soil

Name: Upper Soil

Unit Weight (kN/m³): 20 Sat. U.W. (kN/m³): 20

Strength Type: Mohr-Coulomb

Strength Parameters

Cohesion (kPa): 95 Friction (degrees): 15

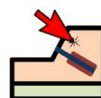
Apply Cancel

Введите свойства как показано на рисунке выше. Когда будут введены все параметры для первого материала, выберите второй и третий заполняя их свойства соответственно материалам middle layer и lower layer из таблицы выше. После завершения нажмите кнопку **Применить** [Apply].

Назначение материалов

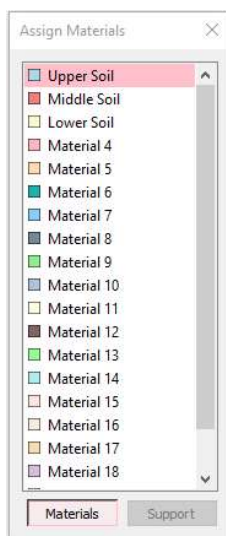
Так как мы определили более одного материала, необходимо назначить свойства материалов на каждую область модели, используя окно **Назначить материал** [Assign Properties]. Выберите **Назначить материал** [Assign Properties] на панели инструментов или в меню **Материалы** [Properties].

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

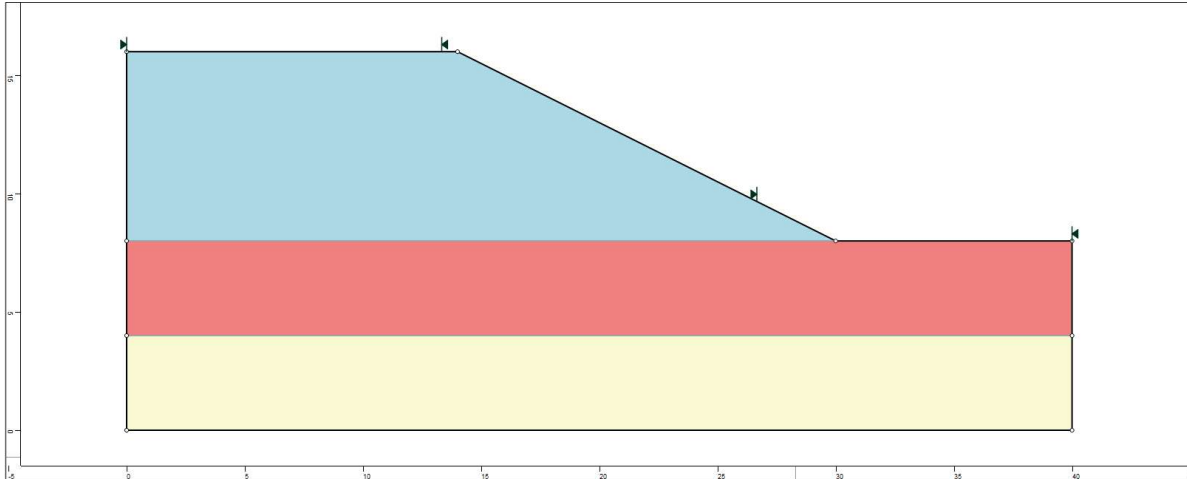


Рисунок 4- Вид модели после назначения материалов.

Добавление распределенной нагрузки

Чтобы добавить распределенную нагрузку выберите **Распределенная нагрузка** [Add Distributed Load] на панели инструментов или в меню **Нагрузки** [Loading].

Выберите: *Нагрузки* [Loading] →



Распределенная нагрузка [Add Distributed Load]

Окно **Распределенная нагрузка** [Add Distributed Load] показано ниже.

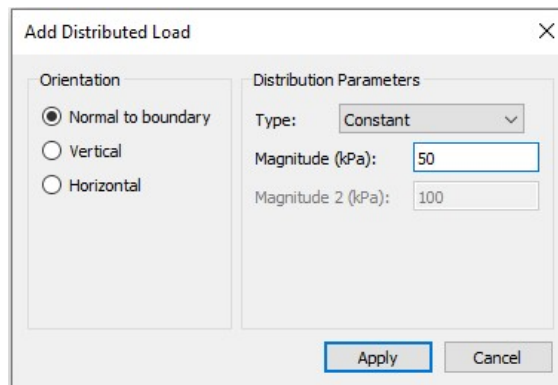


Рисунок 5- Окно Распределенная нагрузка [Add Distributed Load].

Выберите равномерное распределение и введите величину нагрузки 50 kPa, затем нажмите кнопку **Применить** [Apply]. Теперь, передвигая курсор мыши, Вы увидите маленький черный крестик, который следует за курсором и привязывается к ближайшей точке ближайшей границы.

Вы можете ввести расположение нагрузки графически, кликая левой кнопкой мыши когда крестик станет красным тем самым отмечая начальную и конечную точки распределения нагрузки. Однако для ввода точных координат, проще ввести координаты в строке ввода.

Введите первую точку на границе [esc=отмена]: 8 16

Введите вторую точку на границе [esc=отмена]: 14 16

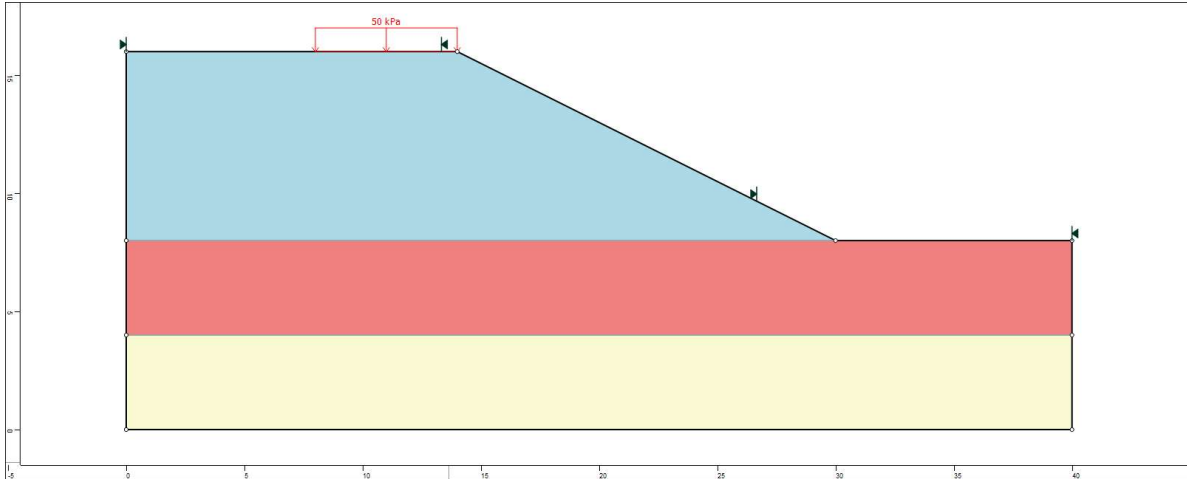


Рисунок 6- Вид модели с приложенной нагрузкой.

Назначение сейсмической нагрузки

Чтобы назначить сейсмическую нагрузку, выберите **Сейсмическая** [Seismic Load] на панели инструментов или в меню **Нагрузки** [Loading].

Выберите: *Нагрузки [Loading]* →



Сейсмическая [Seismic Load]

Окно задания сейсмической нагрузки показано ниже.

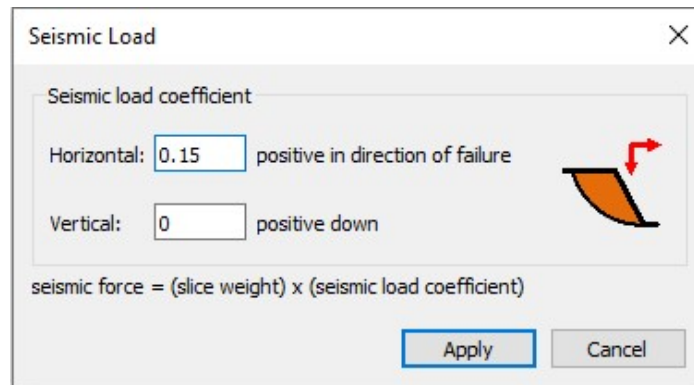


Рисунок 7- Окно задания сейсмической нагрузки.

Введите коэффициент горизонтальной сейсмической нагрузки 0.15 и нажмите кнопку **Применить** [Apply].

Примечания:

- Коэффициент горизонтальной сейсмической нагрузки всегда положительный, и представляет собой горизонтальную сейсмическую нагрузку, направленную от склона.
- Положительный коэффициент вертикальной сейсмической нагрузки представляет собой вертикальную сейсмическую силу, направленную вниз, а отрицательный имеет направление вверх.

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. Обратите внимание, что в текущей версии **HYRCAN**, реализован только упрощенный метод Бишопа. Возможно, в будущем, будут реализованы другие методы. В итоге получилось 5000 пробных поверхностей. Результат вычисления коэффициента устойчивости показан на рисунке 8. Таблице 1 представлены результаты сравнения вычисления коэффициента устойчивости этой модели, используя другие коммерческие программы.

Таблица 1- Сравнительная таблица вычисления коэффициента устойчивости

Метод	Slide2	HYRCAN
Bishop Simplified	0.797	0.747

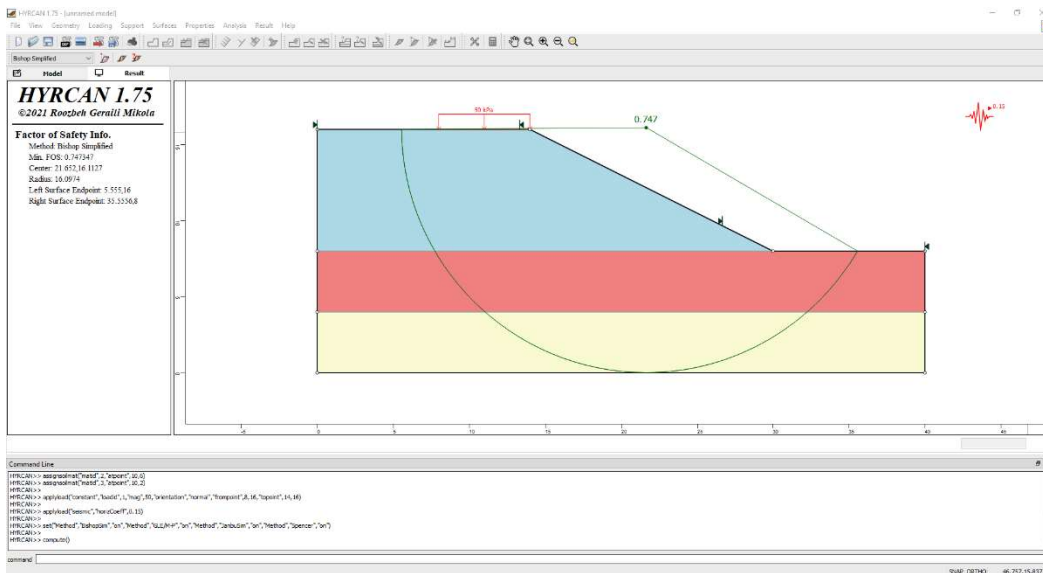


Рисунок 8- Результат автоматического поиска поверхности скольжения.

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]

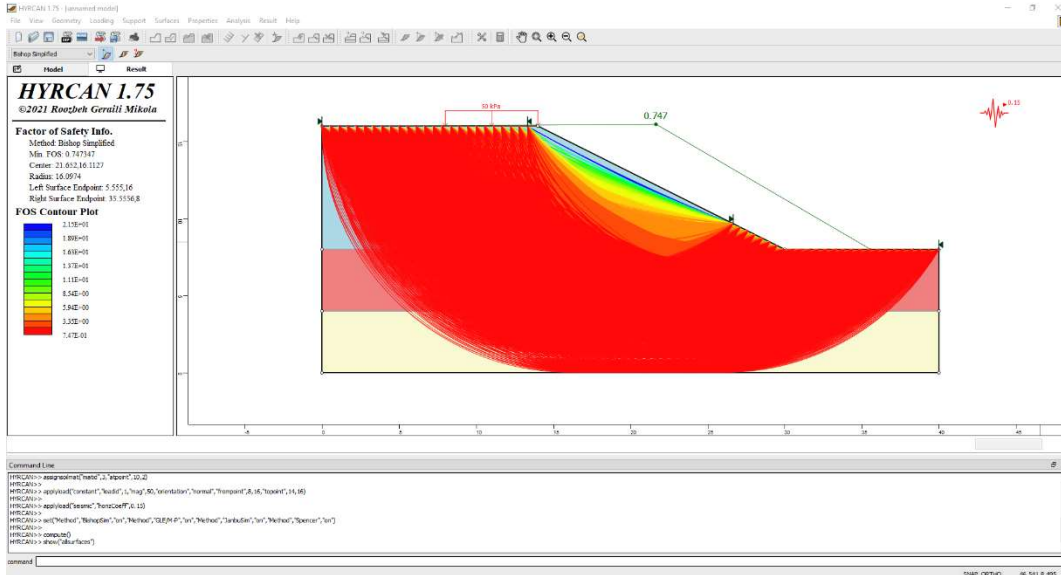



Рисунок 9- Найденные круглоцилиндрические поверхности скольжения – показаны все.

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

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

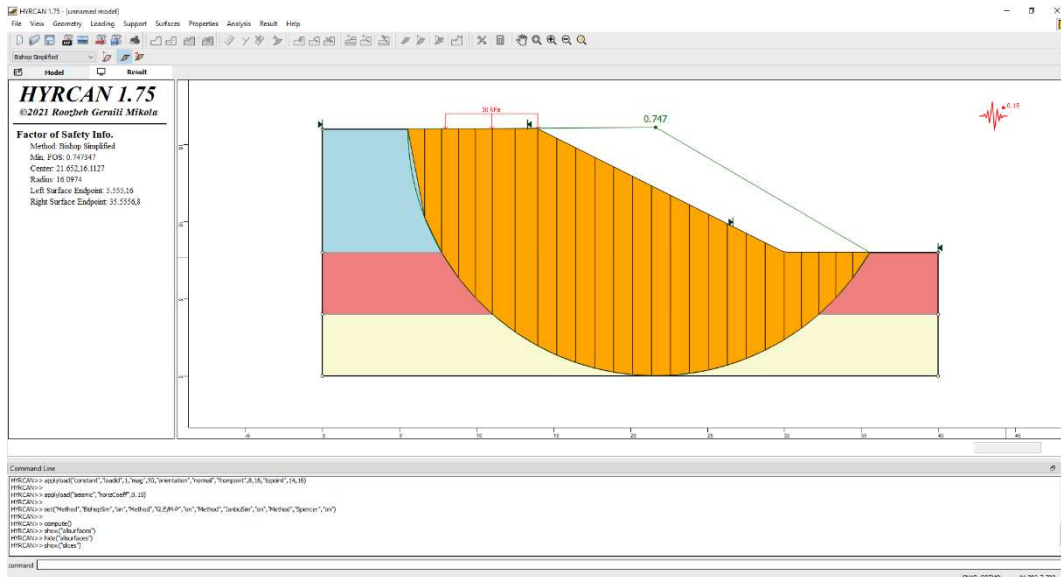


Рисунок 10- Отображение участков.

Опция **Информация об участке** [Query Slice Data] позволяет просматривать детальную информацию по каждому участку.

Выберите: *Результаты* [Result] →  *Информация об участке* [Query Slice Data]

После выбора опции **Информация об участке** [Query Slice Data], появится окно **Информация об участке** [Slice Data dialog], которое позволяет просматривать результаты для любого выбранного участка, как показано ниже:

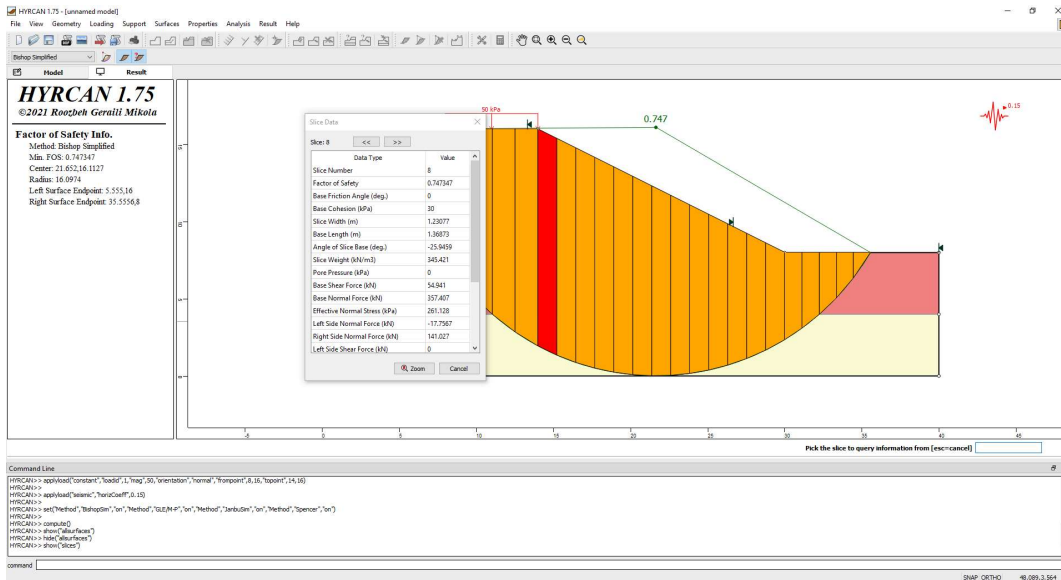


Рисунок 11- Окно с информацией об участках.

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", "l2r")

extboundary(0,0,0,16,14,16,30,8,40,8,40,0,0,0)

matboundary(0,8,30,8)
matboundary(0,4,40,4)

definemat("ground", "matID",1,"matName", "Upper Soil", "uw",20,"cohesion",95,"friction",15)
definemat("ground", "matID",2,"matName", "Middle Soil", "uw",20,"cohesion",15,"friction",0)
definemat("ground", "matID",3,"matName", "Lower Soil", "uw",20,"cohesion",30,"friction",0)

assignsoilmat("matid",1,"atpoint",10,10)
assignsoilmat("matid",2,"atpoint",10,6)
assignsoilmat("matid",3,"atpoint",10,2)

applyload("constant", "loadid",1,"mag",50,"orientation", "normal", "frompoint",8,16,"topoint",14,16)

applyload("seismic", "horizCoeff",0.15)

compute ()
  
```