

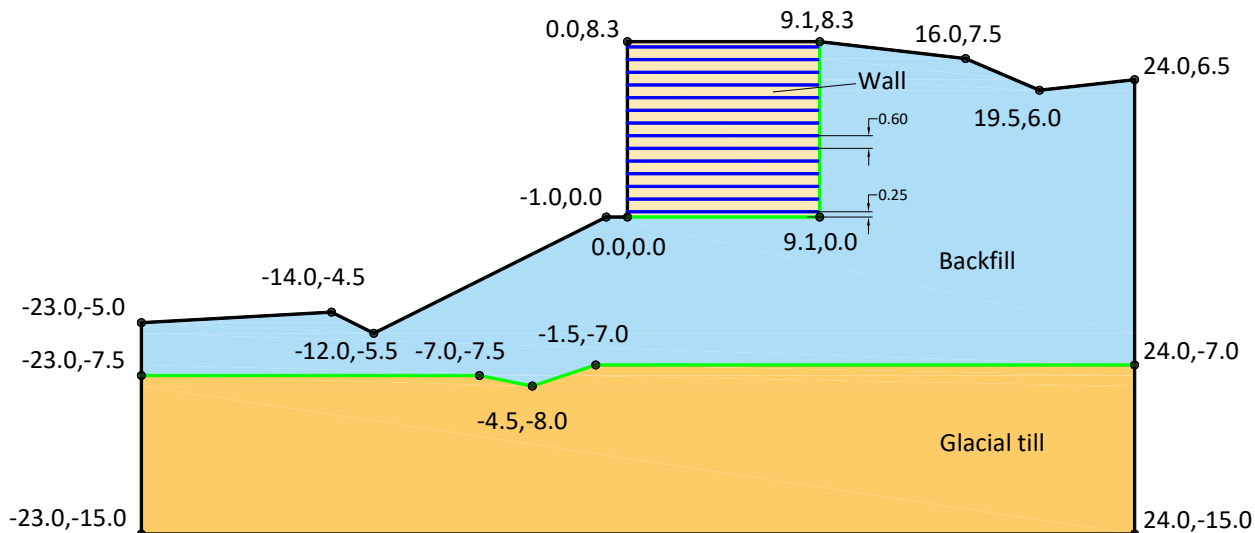
# Устойчивость откоса, укрепленного геотекстилем

Автор: [Roозbeh 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 продемонстрирует моделирование укрепление откоса геосинтетическими материалами в **HYRCAN**. В **HYRCAN** можно смоделировать пять различных типов укрепления склона, включая грунтовые нагели, геотекстиль, грунтовые анкеры, анкеры с закрепленным концом и сваи.

## 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]*

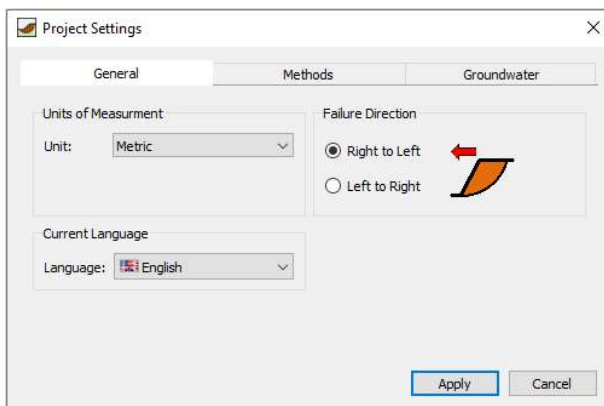


Рисунок 1- Окно Настройки проекта [Project Settings]

## Создание геометрии

- **Внешние границы [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] →



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

Enter vertex [esc=cancel]: -23.0,-5.0	Enter vertex [c=close,esc=cancel]: 16.0,7.5
Enter vertex [esc=cancel]: -14.0,-4.5	Enter vertex [c=close,esc=cancel]: 19.5,6.0
Enter vertex [esc=cancel]: -12.0,-5.5	Enter vertex [c=close,esc=cancel]: 24.0,6.5
Enter vertex [c=close,esc=cancel]: -1.0,0.0	Enter vertex [c=close,esc=cancel]: 24.0,-15.0
Enter vertex [c=close,esc=cancel]: 0.0,0.0	Enter vertex [c=close,esc=cancel]: -23.0,-15.0
Enter vertex [c=close,esc=cancel]: 0.0,8.3	Enter vertex [c=close,esc=cancel]: c
Enter vertex [c=close,esc=cancel]: 9.1,8.3	

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

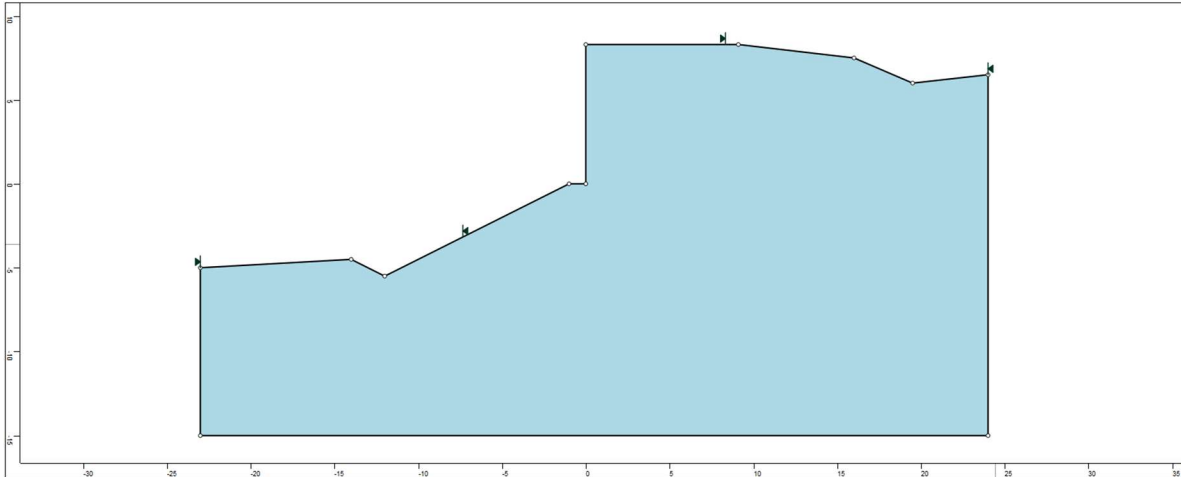


Рисунок 2- Созданы внешние границы.

- **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]: -23.0,-7.5
Enter vertex [d=done,esc=cancel]: -7.0,-7.5
Enter vertex [d=done,esc=cancel]: -4.5,-8.0
Enter vertex [d=done,esc=cancel]: -1.5,-7.0
Enter vertex [d=done,esc=cancel]: 24.0,-7.0
Enter vertex [d=done,esc=cancel]: d
```

Повторите действия и введите следующие координаты в командную строку.

```
Enter vertex [esc=cancel]: 0.0,0.0
Enter vertex [d=done,esc=cancel]: 9.1,0.0
Enter vertex [d=done,esc=cancel]: 9.1,8.3
Enter vertex [d=done,esc=cancel]: d
```

Теперь экран программы выглядит так:

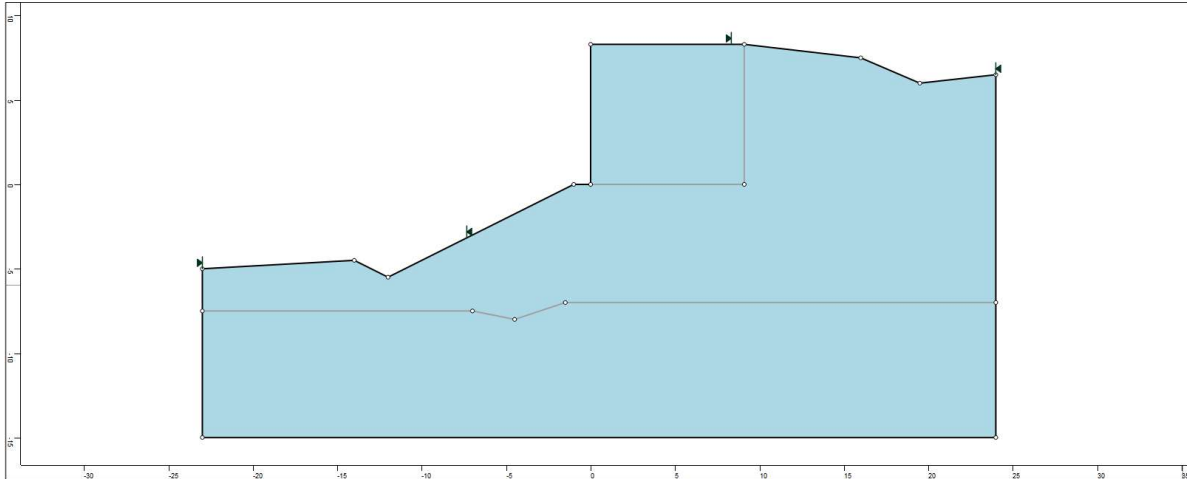


Рисунок 3- Созданы внешние границы и границы материалов

## Свойства материалов

Теперь надо задать свойства материалов. Выберите **Свойства материалов** [Define Materials] на панели инструментов или в меню **Материалы** [Properties].

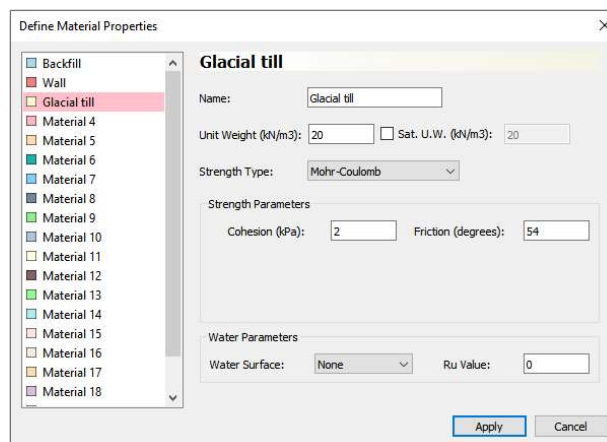
Выберите: *Материалы* [Properties] →



*Свойства материалов* [Define Materials]

Материал	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (град)
Backfill	21.7	1.0	33.0
Wall	20.4	0.0	41.0
Glacial till	20	2.0	54.0

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



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

## Назначение материалов

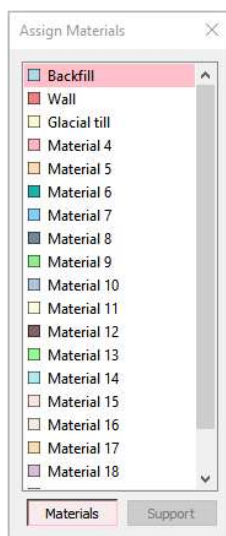
Поскольку мы определили более одного материала, необходимо назначить свойства материала на каждую область модели используя окно **Назначить материал** [Assign Material]. Выберите **Назначить материал** [Assign Properties] на панели инструментов или в меню **Материалы** [Properties].

Выберите: *Материалы* [Properties] →



*Назначить материал* [Assign Properties]

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



Чтобы назначить материал нужно:

1. Мышкой выберите 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

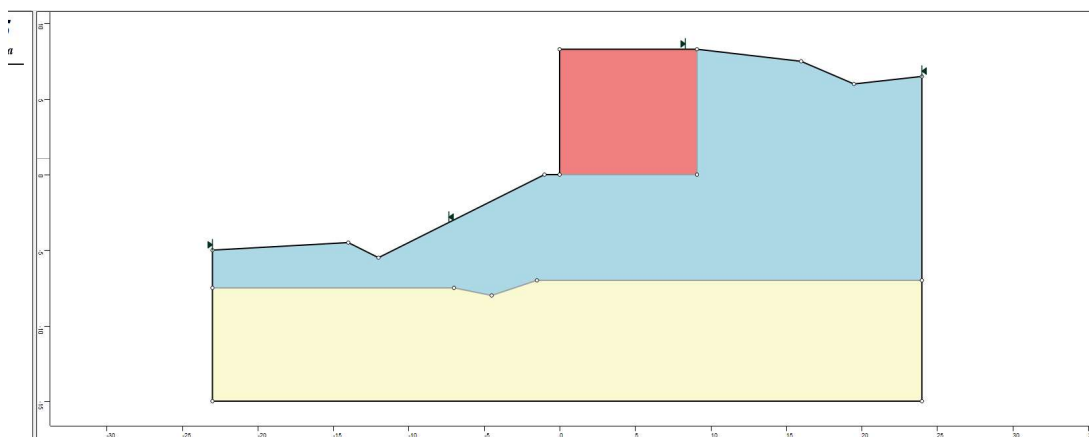


Рисунок 4- Геометрия модели после назначения свойств материалов.

## Добавление массива креплений

Перед тем как добавить крепление давайте сначала определим тип крепления и зададим соответствующие ему свойства. Чтобы это сделать, выберите **Свойства креплений** [Define Support] на панели инструментов или в меню **Материалы** [Properties].

Выберите: *Материалы [Properties]* →

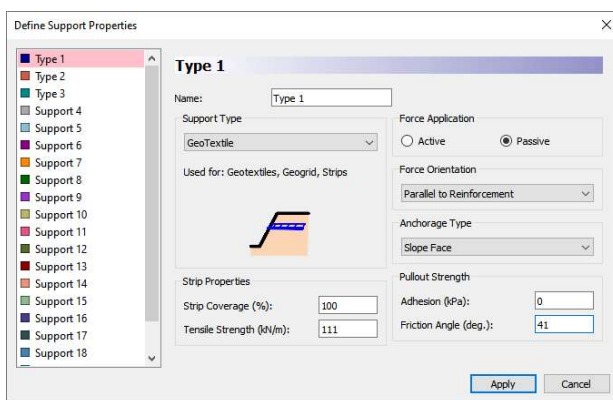


*Свойства креплений  
[Define Support Properties]*

В появившемся окне **Свойства креплений** [Define Support Properties] введите соответствующие свойства материала крепления:

Тип крепления [Support Type]	Название [name]	Поверхность покрытия [Strip Coverage] (%)	Прочность на растяжение [Tensile Strength] (kN/m)	Адгезия [Adhesion] (kPa)	Угол трения [Friction Angle] (град.)
Geotextile	Type 1	100	111	0	41
	Type 2		71		
	Type 3		42		

Обратите внимание, “**Приложение силы**” [“Force Application”] и “**Ориентация силы**” [“Force Orientation”] для всех типов креплений “**Пассивное**” [“Passive”] и “**Параллельно укреплению**” [“Parallel to Reinforcement”] соответственно.



Давайте теперь добавим элементы крепления. Они могут быть заданы в модели индивидуально, используя опцию «Одиночное крепление» [Add Single Support] в меню «Крепления» [Support]. Если нужно добавить несколько креплений с регулярным шагом, можно использовать опцию «Массив креплений» [Add Support Pattern] из меню «Крепления» [Support]. В этом примере мы будем использовать опцию «Массив креплений» [Add Support Pattern], для добавления креплений с равномерным шагом вдоль откоса.

Выберите: *Крепления [Support]* →



*Массив креплений [Add Support Pattern]*

В диалоговом окне «Массив креплений» [Support Pattern] выберите «Материал крепления» [support property] “**Type 1**” и установите «Направление» [Orientation] = «Горизонтально» [Horizontal], «Длина» [Length] = 9.0, и «Расстояние между креплениями» [Distance between supports] = 0.6 как показано на рисунке 5 после чего нажмите кнопку «Применить» [Apply]. Теперь, курсор выглядит в виде черного крестика, который следует за мышкой и привязывается к ближайшим точкам внешней границы. Можно указать расположение точек начала и конца массива креплений графически мышкой. Однако, для ввода конкретных координат, легче и более точно, в данном случае, ввести координаты в командной строке ввода. Давайте введем координаты первой и второй точек на границе для установки первых семи слоев геотекстиля:

Enter first point on boundary [esc=cancel]: 0,0.25  
Enter second point on boundary [esc=cancel]: 0,3.9

Повторите действия для установки следующих четырех слоев геотекстиля (т.е. **Type 2**) и введите следующие координаты:

Enter first point on boundary [esc=cancel]: 0,4.45  
Enter second point on boundary [esc=cancel]: 0,6.5

И для последних трех слоев геотекстиля (т.е. **Type 3**):

Enter first point on boundary [esc=cancel]: 0,6.85  
Enter second point on boundary [esc=cancel]: 0,8.3

Обратите внимание, что для установки слоев геотекстиля индивидуально могла быть использована команда «Одиночное крепление» [Add Single Support] вместо команды «Массив креплений» [Add Support Pattern].

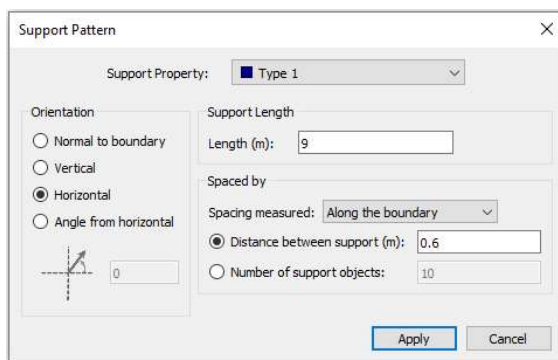


Рисунок 5- Окно добавления массива креплений.

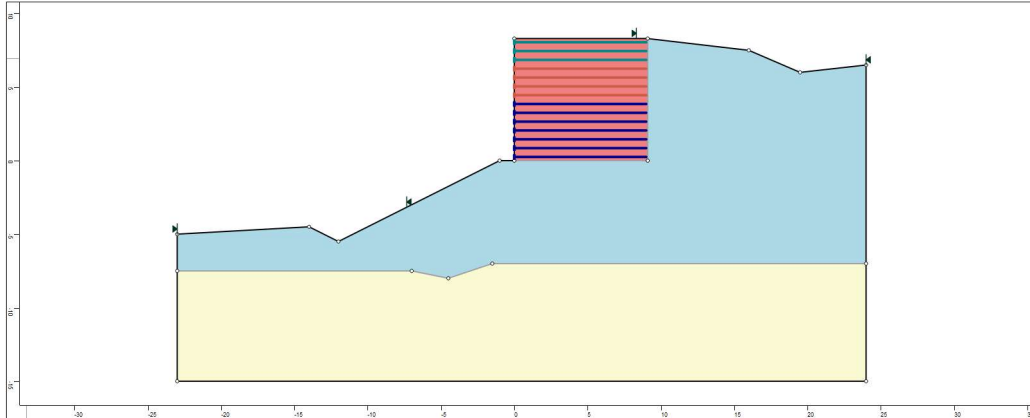


Рисунок 6- Геометрия модели с установленным геотекстилем

## 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]

Define Slope Limits ✕

Limits

Left x coordinate:

Right x coordinate:

Second set of limits

Limits

Left x coordinate:

Right x coordinate:

В этом примере левая и правая координаты первых границ заданы -14 и -1, а левая и правая координаты вторых границ заданы 2 и 19.5. 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 7. 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]	1.493	1.459
Моргенштерн-Прайс [GLE/Morgenstern-Price]	1.495	1.459
Упрощенный Янбу [Janbu Simplified]	1.328	1.323
Спенсер [Spencer]	1.494	1.458

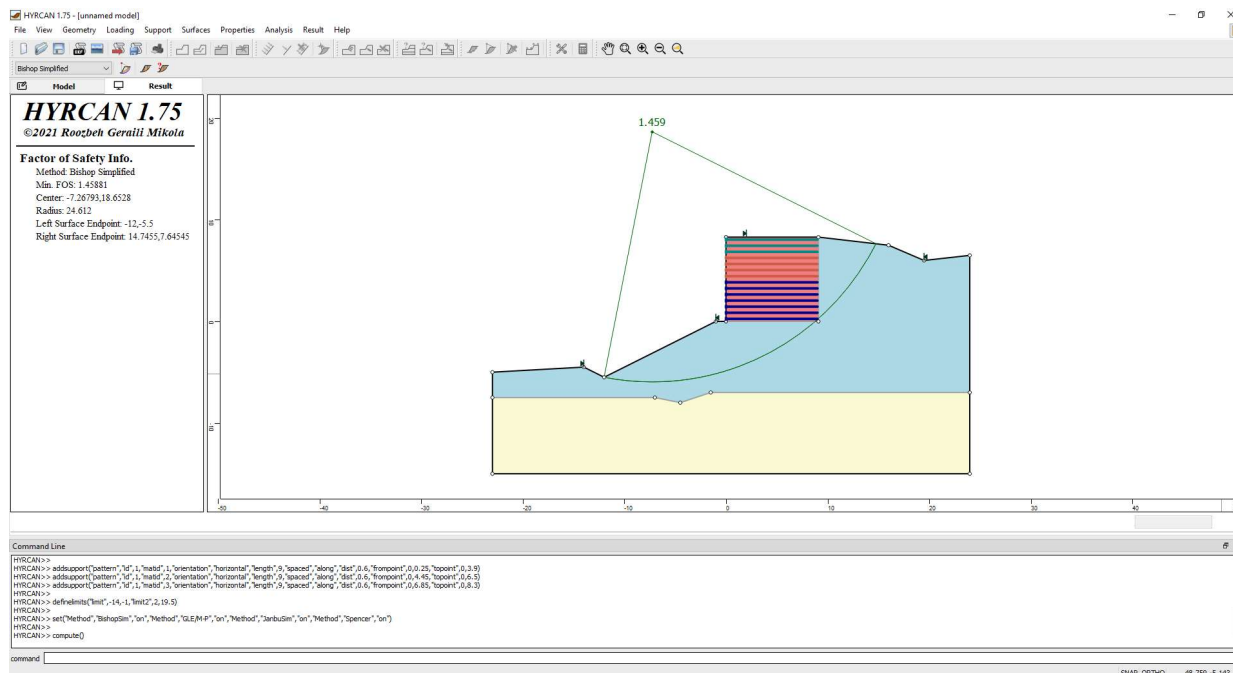



Рисунок 7- Результат автоматического поиска поверхности скольжения

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]

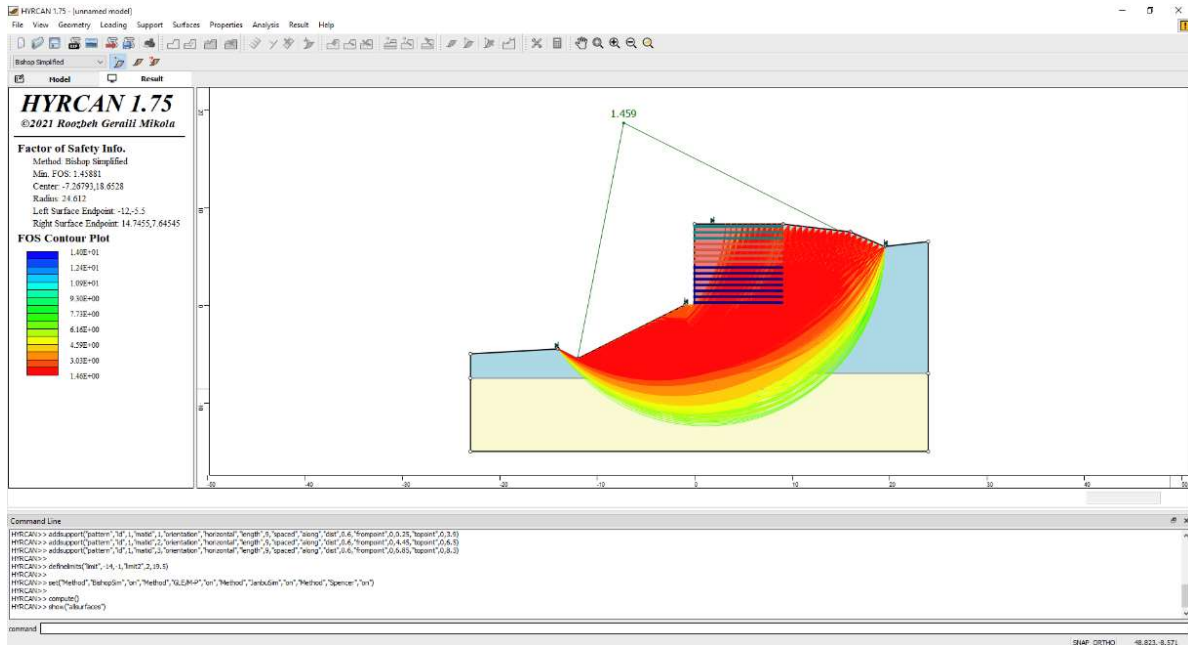



Рисунок 8- Найденные круглоцилиндрические поверхности скольжения – показаны все поверхности

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

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

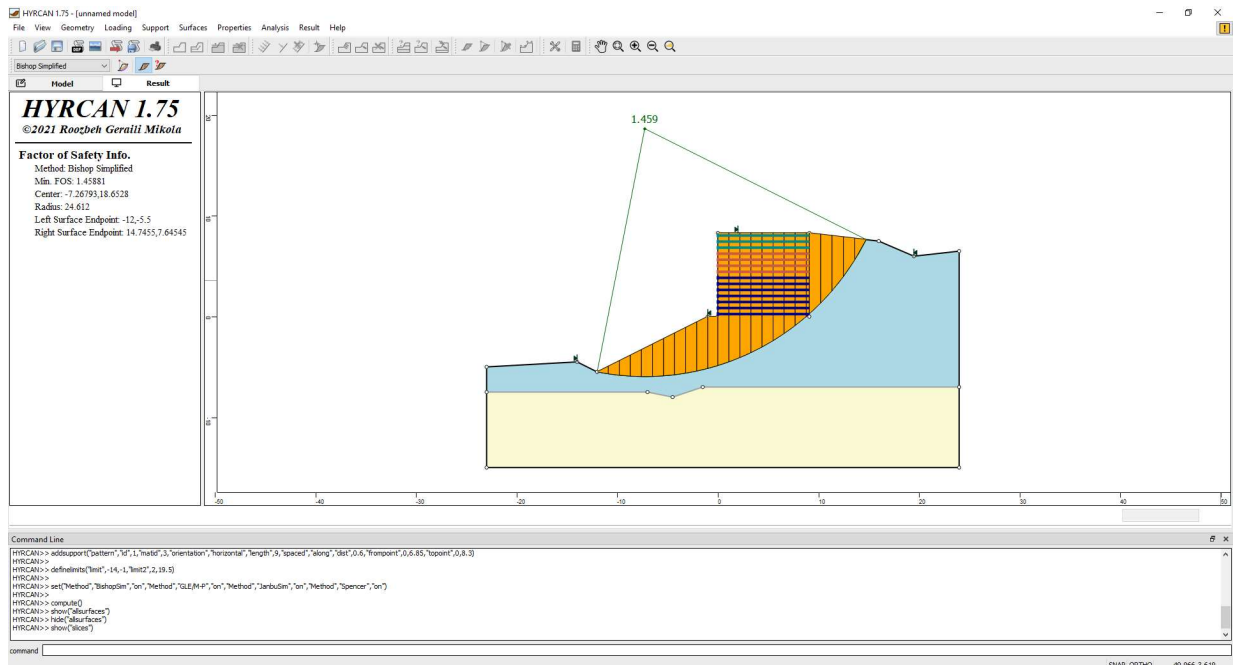


Рисунок 9- Отображение участков.

## 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 (-23,-5,-14,-4.5,-12,-5.5,-1,0,0,0,0,8.3,9.1,8.3,16,7.5,19.5,6,24,6.5,24,-15,-23,-15,-23,-5)

matboundary (-23,-7.5,-7,-7.5,-4.5,-8,-1.5,-7,24,-7)
matboundary (0,0,9.1,0,9.1,8.3)

definemat ("ground", "matID", 1, "matName", "Backfill", "uw", 21.7, "cohesion", 1, "friction", 33)
definemat ("ground", "matID", 2, "matName", "Wall", "uw", 20.4, "cohesion", 0, "friction", 41)
definemat ("ground", "matID", 3, "matName", "Glacial till", "uw", 20, "cohesion", 2, "friction", 54)

assignsoilmat ("matid", 2, "atpoint", 7, 5)
assignsoilmat ("matid", 3, "atpoint", 7, -11)

definemat ("support", "matID", 1, "supportType", "GeoTextile", "matName", "Type
1", "forceApp", "passive", "stripTensile", 111, "stripAdhesion", 0, "stripFricAngle", 41)
definemat ("support", "matID", 2, "supportType", "GeoTextile", "matName", "Type
2", "forceApp", "passive", "stripTensile", 71, "stripAdhesion", 0, "stripFricAngle", 41)
definemat ("support", "matID", 3, "supportType", "GeoTextile", "matName", "Type
3", "forceApp", "passive", "stripTensile", 42, "stripAdhesion", 0, "stripFricAngle", 41)

addsupport ("pattern", "id", 1, "matid", 1, "orientation", "horizontal", "length", 9, "spaced", "along", "dis
t", 0.6, "frompoint", 0, 0.25, "topoint", 0, 3.9)
addsupport ("pattern", "id", 1, "matid", 2, "orientation", "horizontal", "length", 9, "spaced", "along", "dis
t", 0.6, "frompoint", 0, 4.45, "topoint", 0, 6.5)
addsupport ("pattern", "id", 1, "matid", 3, "orientation", "horizontal", "length", 9, "spaced", "along", "dis
t", 0.6, "frompoint", 0, 6.85, "topoint", 0, 8.3)

definelimits ("limit", -14, -1, "limit2", 2, 19.5)

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

compute ()
```