

Грунтовая дамба - расчет установившейся фильтрации

Программа: МКЭ - Фильтрация

Файл: Demo_manual_32.gmk

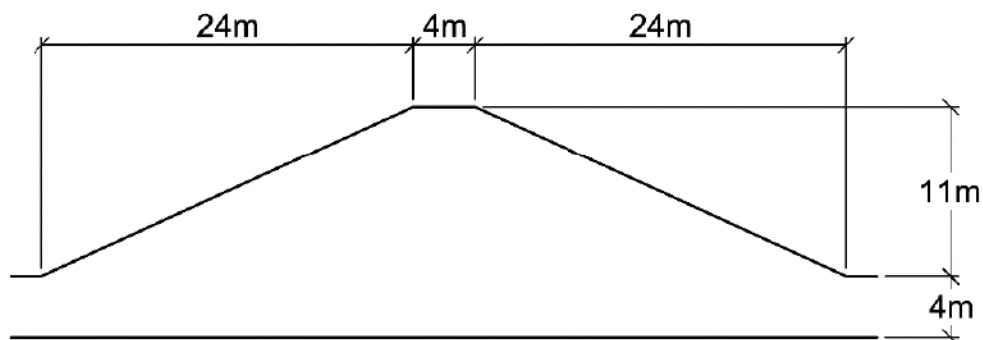
Введение

Данный пример иллюстрирует применение модуля GEO 5 - FEM - Фильтрация для расчета фильтрации через однородную грунтовую дамбу. Основной задачей является определение положения депрессионной поверхности (зоны фреатических вод, т.е. зоны свободной фильтрации) в теле дамбы. Данная задача относится к категории задач о непрерывном течении жидкости. Для ее решения необходимо определить геометрию дамбы, свойства материала для грунта и гидравлические граничные условия. Расчет позволяет определить положение депрессионной поверхности в теле дамбы, распределение порового давления ниже депрессионной поверхности и скорости потока. Выше депрессионной поверхности программа так же позволяет получить отрицательное поровое давление (всасывание). Кроме того, обеспечена полная разгрузка через проницаемые границы.

Постановка задачи

Высота дамбы принята равной 11 м, проектируемая длина верхового и низового откосов составляет 24 м, гребень дамбы - 4 м. На глубине 4 м ниже поверхности находится непроницаемый слой, уровень воды на низовом откосе находится на 1 м ниже поверхности. Грунт во всем сооружении рассматривается как однородный и изотропный с постоянными гидравлическими свойствами в горизонтальном и вертикальном направлениях. По системе классификации USDA грунт относится к пылеватым пескам.

Необходимо определить положение уровня свободной воды при уровнях воды в верхнем бьефе 2 м, 9 м и 10,8 м выше поверхности, соответственно. Кроме этого, необходимо проверить, будет ли происходить разгрузка воды у подошвы низового откоса.



Поперечное сечение однородной грунтовой дамбы - геометрические размеры

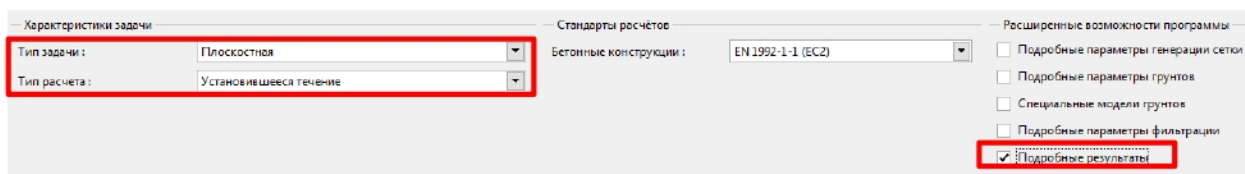
Расчет - ввод исходных данных

Основные настройки задачи, геометрия расчетной модели и параметры материалов задаются в режиме "Топология" [Торо]. Там же генерируется сетка конечных элементов. Гидравлические граничные условия задаются последовательно на отдельных этапах расчета [1], [2] и [3].

Настройки задачи

Во вкладке "Характеристики задачи" режима "Топология" следует определить тип задачи как "Плоскостная", и тип расчета как "Установившееся течение".

Примечание: для возможности визуализации рассчитанных величин так же следует отметить опцию "Подробные результаты". В этом случае программа выводит помимо порового давления и скоростей потока также величины коэффициента относительной проницаемости, характеризующего проницаемость в неводонасыщенной зоне выше депрессионной поверхности.



Характеристики задачи		Стандарты расчётов	Расширенные возможности программы
Тип задачи:	Плоскостная	Бетонные конструкции:	<input type="checkbox"/> Подробные параметры генерации сетки
Тип расчета:	Установившееся течение	EN 1992-1-1 (EC2)	<input type="checkbox"/> Подробные параметры грунтов
			<input type="checkbox"/> Специальные модели грунтов
			<input type="checkbox"/> Подробные параметры фильтрации
			<input checked="" type="checkbox"/> Подробные результаты

Характеристики задачи

Геометрия модели

Для создания расчетной модели необходимо установить общий размер задачи от 0 до 52 м и ввести единственную границу с точками, имеющими координаты [0; 0], [24; 11], [29; 11], [52; 0]. Глубина модели от нижней точки границы составляет 4 м и определяется в окне "Пространство модели".

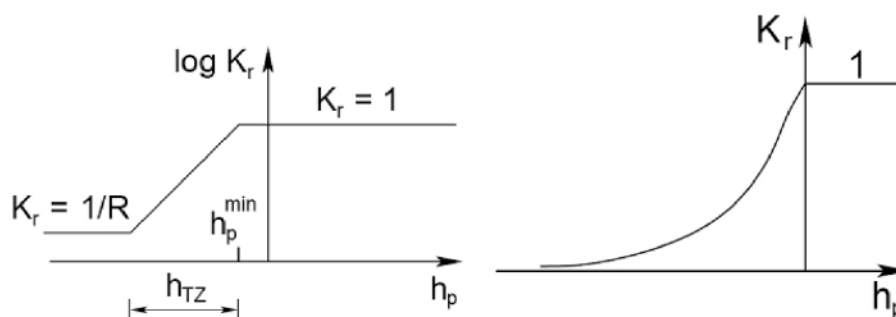
Материал

Необходимые параметры материала для грунта определяются лабораторными измерениями. Однако в случае данного иллюстрирующего примера такие измерения отсутствуют. В связи с этим принимают приблизительные значения, соответствующие пылеватому песку.

В случае использования модели ван Генухтен типовые значения параметров модели для пылеватого песка составляют: $k_{x,sat} = k_{z,sat} = 1,06$ м/день, $\alpha = 7,5$ и $n = 1,89$. Коэффициент пористости для данной разновидности грунта составляет $e_0 = 0,7$. Более подробная информация представлена в Справке к программе (<http://www.finesoftware.eu/help/geo5/en/material-models-in-flow-analysis-01/>).

Параметры материала задаются в окне "Добавление новых грунтов"

Примечание: проницаемость грунта в неводонасыщенном или частично водонасыщенном состоянии выше депрессионной поверхности определяется как произведение коэффициента фильтрации полностью водонасыщенного грунта K_{sat} и коэффициента относительной проницаемости K_r . Последний выведен из модели переходной зоны. Данная модель определяет, каким образом коэффициент относительной проницаемости K_r меняется с ростом напора (порового давления) h_p . Графически данная зависимость для лог-линейной модели и модели ван Генухтен представлена на рисунке ниже.



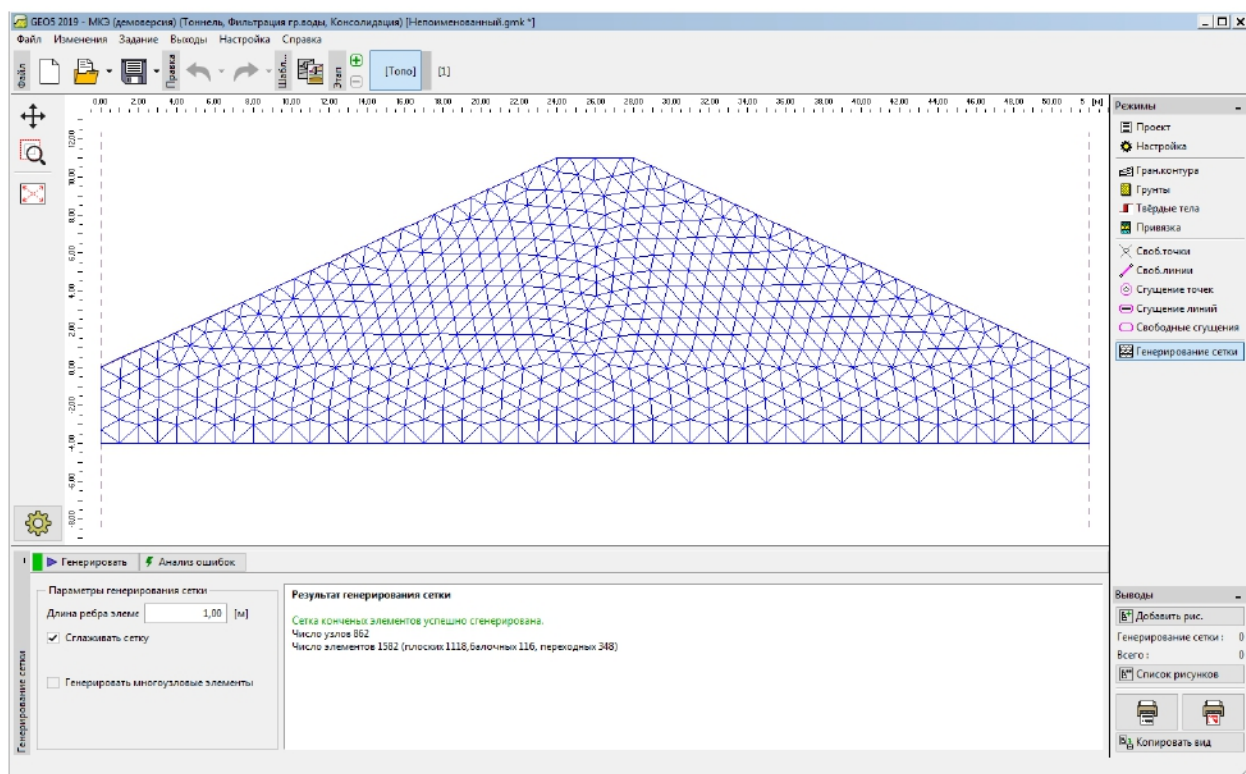
Преобразование коэффициента относительной проницаемости как функции напора для лог-линейной модели и модели ван Генухтен в переходной зоне

Очевидно, что для положительного напора то есть в области ниже депрессионной поверхности - коэффициент относительной проницаемости постоянный и равен 1. Модель переходной зоны, следовательно, не оказывает влияния на течение жидкости ниже депрессионной поверхности в полностью водонасыщенной зоне. В области с отрицательным напором (выше депрессионной поверхности) степень водонасыщения уменьшается. Это приводит к снижению фактической водопроницаемости, так как только насыщенные водой поры пропускают поток жидкости.

Сетка конечных элементов

В программе GEO 5 FEM - Фильтрация в расчете по умолчанию используются трехузловые треугольные элементы. Учитывая размеры модели, представляется достаточным размер стороны элемента 1 м. Принятая геометрия и однородный грунт не требуют дополнительного увеличения плотности сетки.

Примечание: увеличение плотности сетки становится необходимым при работе с более детализированными моделями, содержащими относительно небольшие конструктивные элементы, например, противофильтрационную завесу или дрены. Опция ввода для опытных пользователей в дальнейшем позволит применять гибридную сетку (сочетание треугольных и четырехугольных элементов).



Вкладка "Генерирование сетки" - Сетка конечных элементов

Этап проектирования 1: уровень воды в верхнем бьефе на 2 м выше поверхности земли

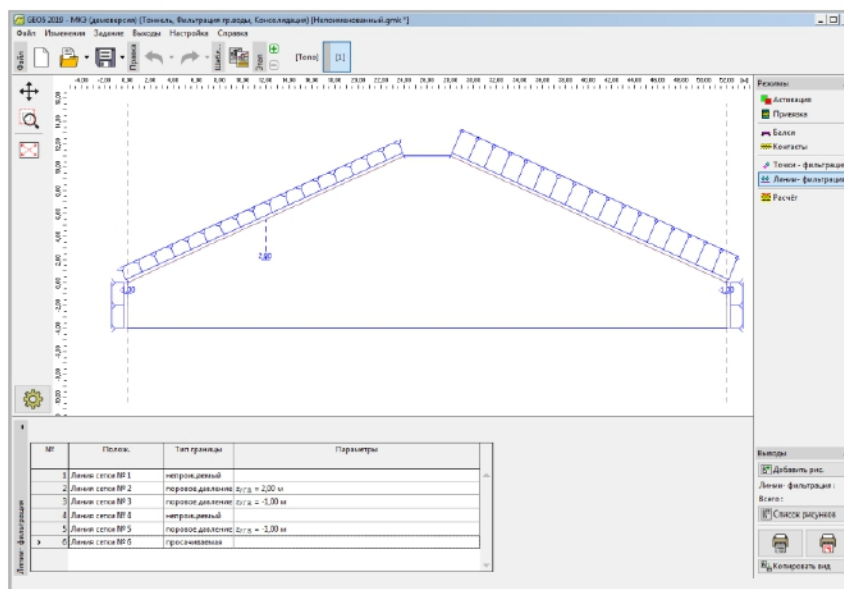
На каждом этапе проектирования, прежде чем выполнять расчет, необходимо ввести гидравлические граничные условия. Эти граничные условия в программе вводятся как поток в точке или по линии.

Примечание: по умолчанию внешние границы приняты непроницаемыми. В связи с этим расчет методом конечных элементов требует определения порового давления либо вдоль части внешней границы (линии или точки на внешней границе), либо в точке внутри области задачи.

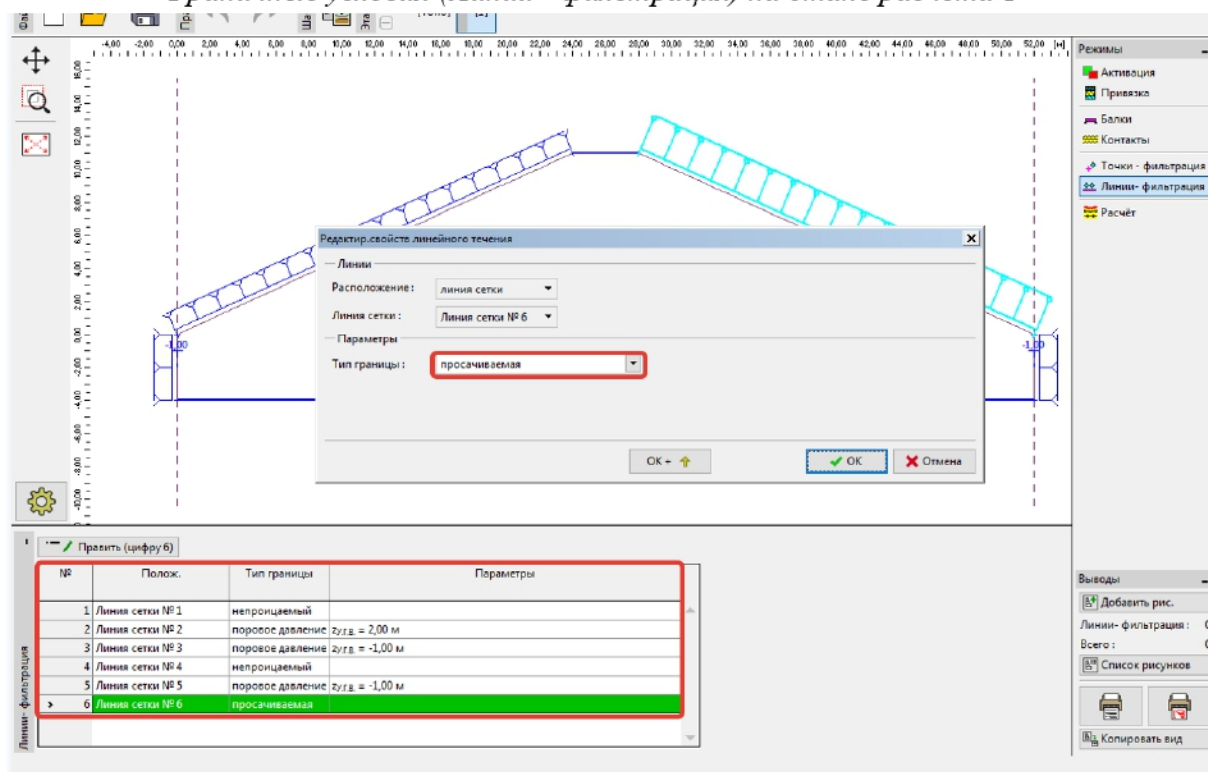
Граничные условия - этап 1

На этапе проектирования 1 определяются следующие граничные условия:

1. По верховому откосу задается граничное условие в виде *порового давления* путем установки уровня грунтовых вод на 2 м выше поверхности земли. Необходимо отметить, что часть границы выше уровня грунтовых вод рассматривается как непроницаемая поверхность. Всасывание вдоль линии, где заданы граничные условия в виде порового давления, не задается пользователем, а определяется в ходе расчета.
2. По низовому откосу задается граничное условие в виде фильтрующей границы (*просачивание*).
3. На вертикальной поверхности у подошвы низового откоса в данном примере задается граничное условие в виде *порового давления* путем установки уровня грунтовых вод на глубине -1 м. Это условие предполагает ограничение потока уровнем грунтовой воды на данной глубине.
4. По нижней границе области задачи и вдоль гребня дамбы задается *непроницаемая* граница. Это граничное условие предполагает отсутствие фильтрации сквозь границу.



Граничные условия (Линии - фильтрация) на этапе расчета 1

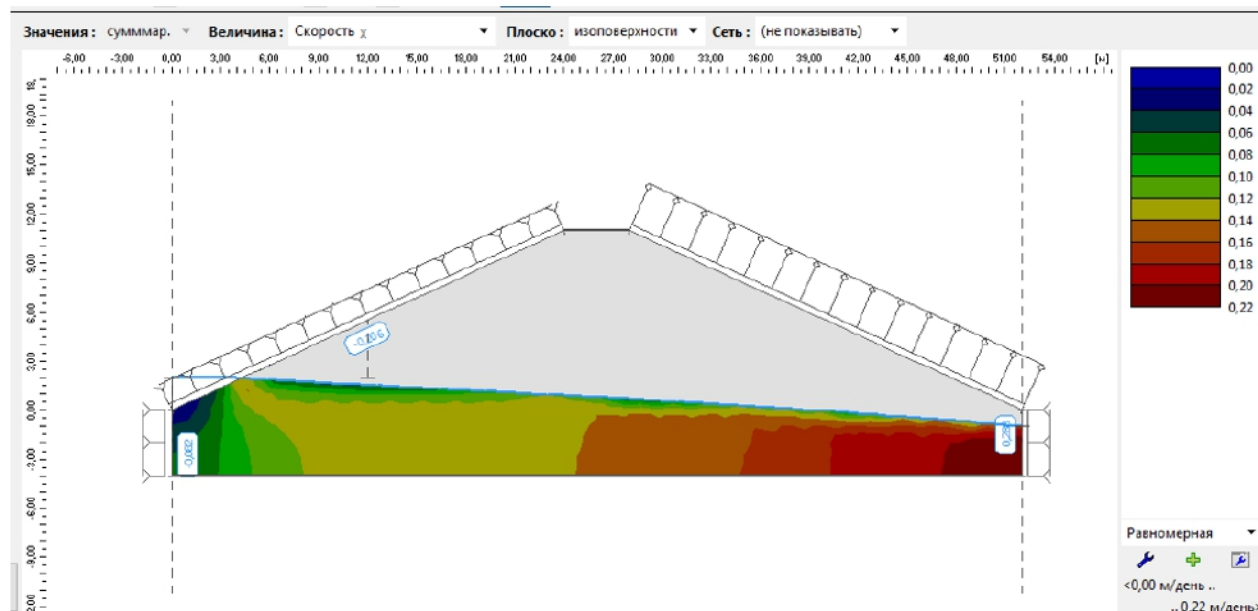


Ввод условий фильтрации по линиям (граничных условий)

Примечание: тип граничных условий "просачивание" используется вдоль тех участков внешних границ, где заранее неизвестно, будет ли данная граница находиться выше или ниже депрессионной поверхности. Этот тип граничных условий подразумевает автоматический поиск точки разгрузки (точки на границе, пересекаемой депрессионной поверхностью) и принимает соответствующие граничные условия ниже (нулевое поровое давление) и выше (нулевой расход) данной точки. Данный тип следует применять только на границах, где возможно свободное вытекание жидкости.

Результаты расчета - этап проектирования 1

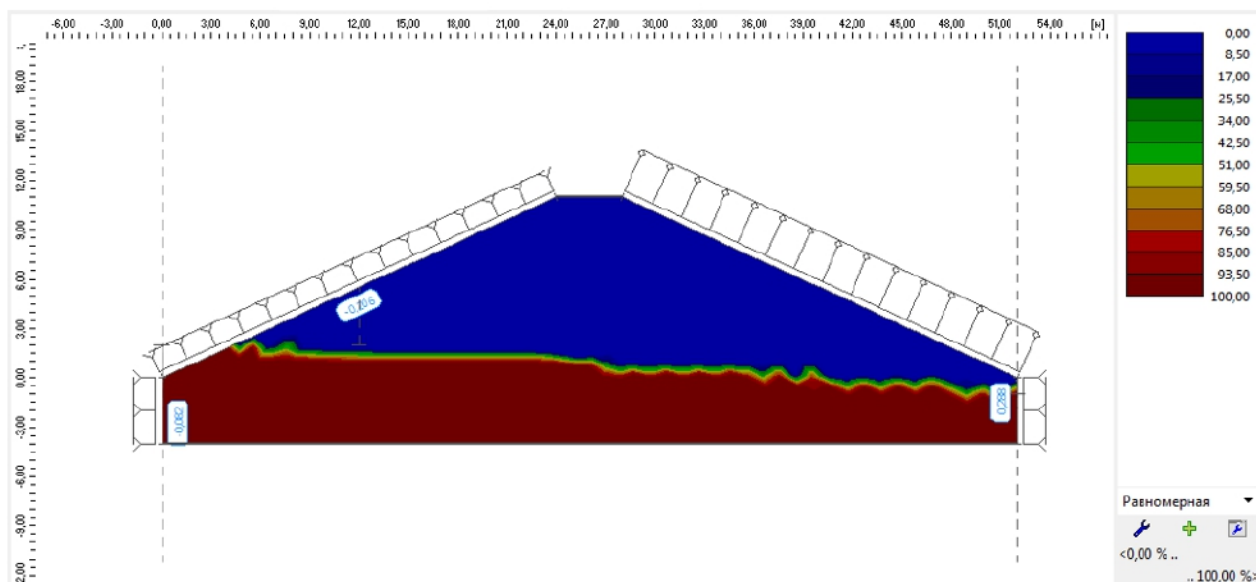
Выбор опции "Подробные результаты" (Топология - Характеристики задачи) позволяет просмотреть распределение порового давления ниже депрессионной поверхности, горизонтальные и вертикальные составляющие вектора скорости потока и общий гидравлический напор.



Распределение горизонтальной составляющей скорости потока

Программа так же позволяет отобразить полный расход через отдельные отрезки, где происходит течение жидкости. Знак "минус" обозначает втекание жидкости в модель, знак "плюс" обозначает вытекание. Из рисунка следует, что вода попадает в модель через верховой откос и вытекает только ниже подошвы низового откоса. Величины расхода приняты для 1 м дамбы в направлении из плоскости.

На рисунке ниже отчетливо видно, что выше депрессионной поверхности коэффициент относительной проницаемости быстро снижается. Большая часть потока, таким образом, протекает ниже депрессионной поверхности в зоне полного водонасыщения.

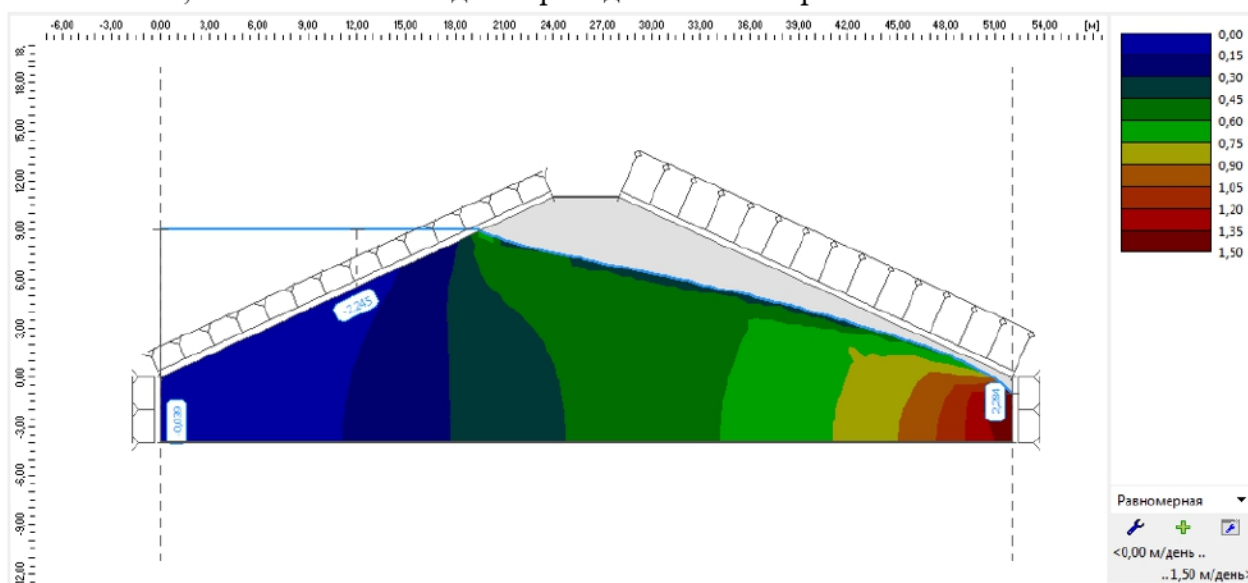


Распределение коэффициента относительной водопроницаемости

Этап проектирования 2: уровень воды в верхнем бьефе на 9 м выше поверхности

На данном этапе проектирования рассматривается уровень воды в верхнем бьефе на 9 м выше поверхности. Типы граничных условий остаются без изменений, меняется только напор на верховом откосе (меняется вертикальная и наклонная граница с левой стороны). Уровень воды на этих границах поднимается с 2 до 9 м.

В результате выполнения расчета установившегося течения с измененными граничными условиями получаются заметно отличающиеся распределения величин. На рисунке ниже видно, что уровень депрессионной поверхности приближается к поверхности низового откоса. Тем не менее, разгрузки через поверхность просачивания по-прежнему не возникает, и весь поток из модели проходит ниже поверхности.

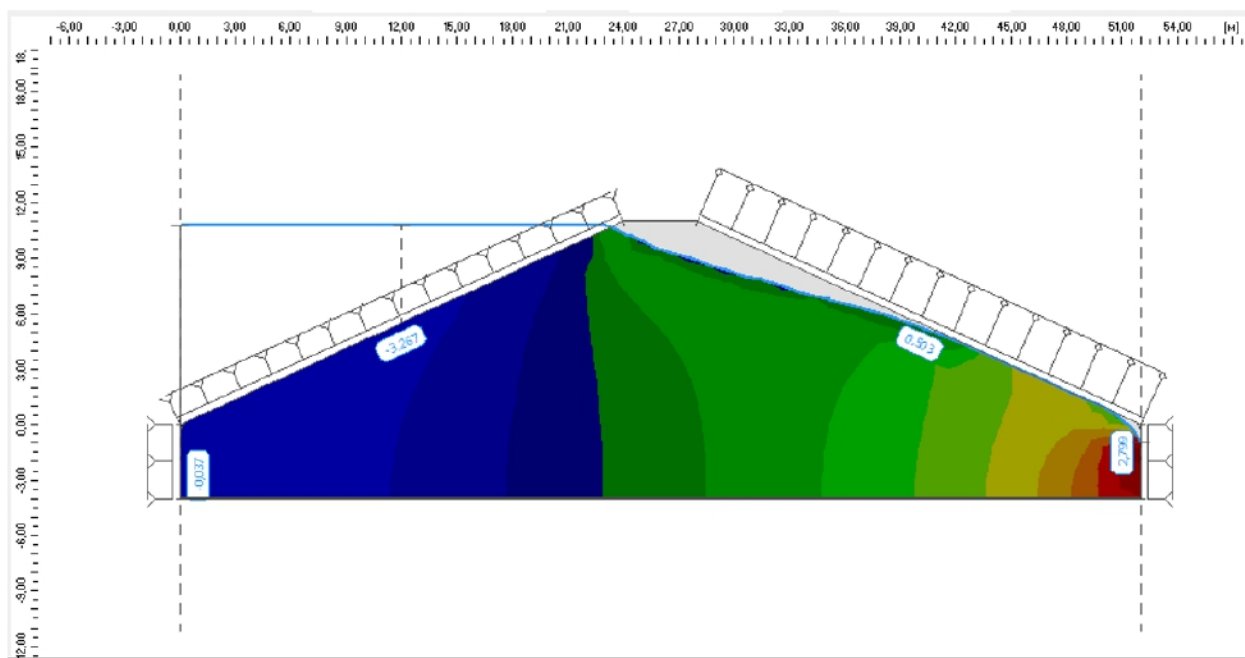


Изопле горизонтальной составляющей скорости потока на этапе 2

Этап проектирования 3: уровень воды в верхнем бьефе на 10,8 м выше поверхности

На данном этапе расчета уровень воды в верхнем бьефе поднимается еще на 1,5 м вплоть до общей высоты 10,8 м. Как и на предыдущем этапе, необходимо изменить только две границы слева.

Анализ результатов показывает, что в этом случае депрессионная поверхность касается поверхности просачивания, где возникает открытый поток вдоль низового откоса. Это подтверждается ненулевым значением расхода жидкости через поверхность типа "просачивание". Необходимо отметить, что в случае установившегося потока общий объем жидкости, втекающей в область расчета, равен объему жидкости, вытекающей из области расчета.



Распределение горизонтальной составляющей скорости потока на этапе 3

Заключение

Было выполнено три расчета, позволяющих определить положение и форму депрессионной поверхности для различных уровней воды в верхнем бьефе - 2 м, 9 м и 10,8 м. Для первых двух случаев исходящий поток проходит только ниже уровня поверхности земли. Когда уровень воды поднимается до 10,8 м, депрессионная поверхность касается поверхности низового откоса и начинается поверхностное истечение жидкости.

Примечание: расчет также показывает, что положение и форма депрессионной поверхности зависят исключительно от действующих граничных условий, геометрии и параметров материала грунтов. В отличие от анализа напряженного состояния или неустановившегося потока, расчет установившегося потока не зависит от начальных условий. Отдельные этапы проектирования не следуют один за другим и могут выполняться независимо.