

УДК 622.271

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ PLAXIS

Куваков С.Ж.

ИГиОН НАН КР

На сегодняшний день существуют широко известные автоматизированные программные продукты для решения горнотехнических и инженерных задач методом конечных элементов, в число которых входят такие программы как ANSYS 14.5, Plaxis 8.2 (2D), MSCNastran 2013.0, SoilWorks, STRESS, Lira, Phase 2и другие. Каждая из перечисленных программ имеют своеобразные практические значимости при моделировании как начального напряженного состояния породного массива, так и его изменения при введении горных работ.

В этой работе рассмотрены особенности примененияPlaxis 8.6при моделирование напряжённого состояния массивов горных пород.

Plaxis – это программная система конечно-элементного анализа, используемая для решения динамических и статистических задач инженерной геотехники и проектирования, которая представляет собой пакет вычислительных программ для конечно-элементного расчёта напряженно-деформированного гидро- и геотехнических сооружений. Программа была разработана на языке FORTRANПитером Вермеером и Рене де Борстом в 1981 году[1]. Автор разрабатывал конечную

систему, определяющую несущую способность упругопластичных грунтов с использованием 6-узловых треугольных элементов, которая решала плоскую задачу (рис.1-а) и продукт назвался ELPLAST. Позднее Рене де Бросту для внедрения конусную форму при моделировании грунта пришлось разработать конечно-элементную систему, решающую осесимметричную задачу (рис. 1-б), и в результате чего программный продукт в целом был назван PLAXIS (PLasticityAXISsymmetry) [1].

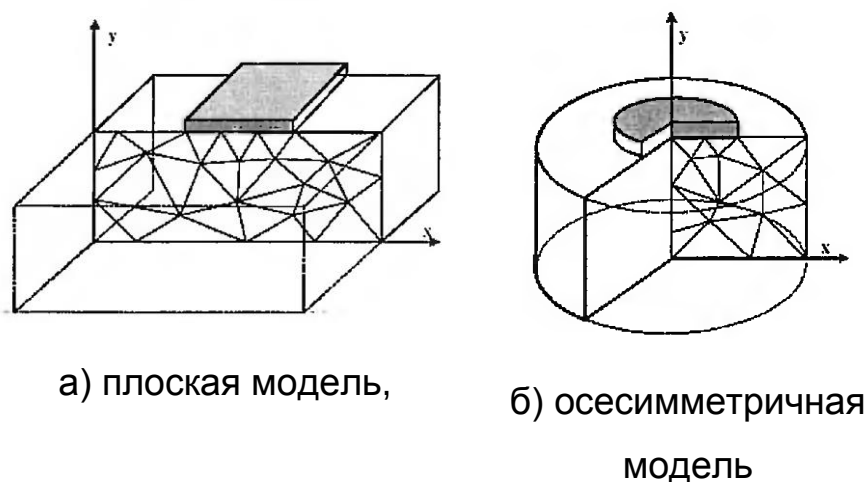


Рис. 1. Модели для конечно-элементных задач.

Только в 1998 году первая версия программы, решающая двумерные задачи (2D) была полностью разработана для широко распространенных операционных систем Windows 95 и Windows 98 [1,4]. Позднее разработчики выпустили специальную программу для расчетов туннелей – Plaxistunnel 2D, а к концу 2010 года программа была усовершенствована до трехмерного моделирования Plaxis 3D и Plaxis 3Dtunnel [7].

Для моделирования деформаций и напряжений в грунте предусмотрены 6-ти узловые треугольные элементы второго порядка и 15-ти узловые треугольные элементы четвертого порядка. Пользователь может выбрать с 6-ти или 15-ти узловыми треугольными

элементы для моделирования слоев грунта и других кластеров (рис.2) [2-6]. По умолчанию используются 15-ти узловые треугольники.

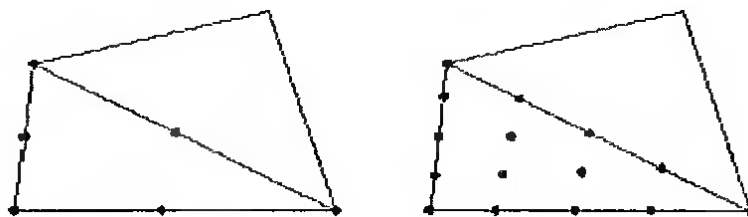


Рис.2 – Треугольные элементы 6-ти и 15-ти узловые.

Это обеспечивает для перемещений интерполяцию четвертого порядка и использует численное интегрирование по двенадцати гауссовым точкам (точкам напряжения). В случае 6-ти узловых треугольников имеет место интерполяция второго порядка, а интегрирование производится по трем точкам напряжения. Отметим, что тип элементов для структурных элементов и контактных поверхностей автоматически берется таким образом, чтобы быть совместимым с типом элемента грунта. Как показывает опыт, 15-ти узловой треугольник представляет собой очень точный элемент, который обеспечивает высокую степень надежности расчетов напряжения в сложных случаях как, например, при расчете разрушения несжимаемых грунтов. Однако, использование 15-ти - узловых треугольников ведет к относительно высоким затратам оперативной памяти компьютера, замедляет работу системы и понижает ее эффективность. Поэтому существуют более простые элементы.

Треугольные 6-узловые элементы дают хорошие результаты для стандартных деформационных задач, при условии, что используется достаточное количество элементов. Однако, следует быть осторожнее с осесимметричными моделями или ситуациями, где возможно разрушение, например, расчеты устойчивости методом ϕ - c reduction. Разрушающие нагрузки или коэффициент устойчивости обычно

завышены при использовании 6-ти узловых элементов. В этих случаях предпочтительнее использовать 15-ти узловых элементы.

Интерфейс программы простой и удобный, который имеет следующий набор инструментов: геометрическая линия, плита, балка, два вида анкера, шарнир, свая, туннель, свойства материала, граничные элементы, различные виды прилагаемых нагрузок, граничные условия и генератор сеток (разбивка на конечные элементы). Так же предусмотрены различные модели грунтов в зависимости от структурного состояния массива [4,5]:

А) Линейная упругая модель, которая представляет закон Гука для изотропной среды.

Б) Модель Кулона-Мора. Данная модель может быть использована для вычисления предельных нагрузок на фундаменты, расчета устойчивости геотехнических объектов методом снижения параметров прочности грунта и т.д

В) Модель ползучести слабого грунта. Эта модель, описывающая вязкопластичное поведение грунта, может использоваться для моделирования, зависящего от времени поведения слабых грунтов.

Г) Модель упрочняющегося грунта – описывает пластичность грунтов при их упрочнении.

Д) Модель скального грунта, т.е. эта анизотропная упругопластичная модель, которая используется для слоистого массива.

Е) Модель Кэм-Клея используется для моделирования поведения слабых грунтов, и используется в ситуациях первичного уплотнения.

Применяемость программы широкая, к примеру выявление зоны пластичности вокруг туннеля (рис. 3), расчет устойчивости откоса (рис. 4), распределение нормальных напряжений сгенерированными на конечные треугольные элементы на Plaxis 3D (рис.5) [7].

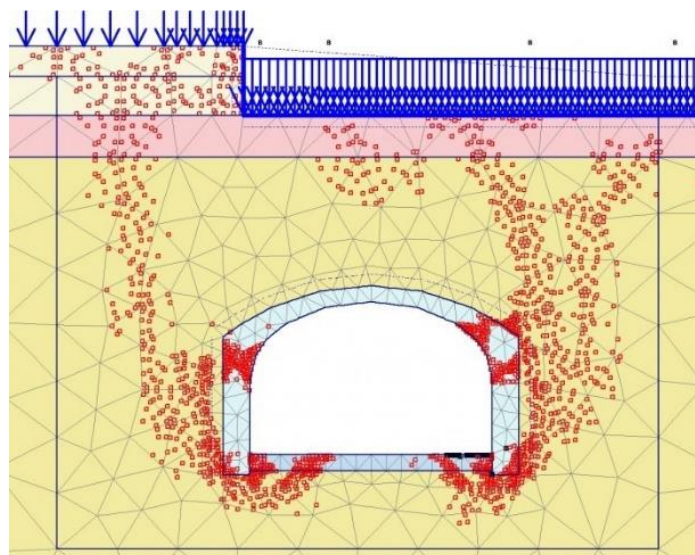


Рис. 3 – Расчет зон пластичности вокруг туннеля.

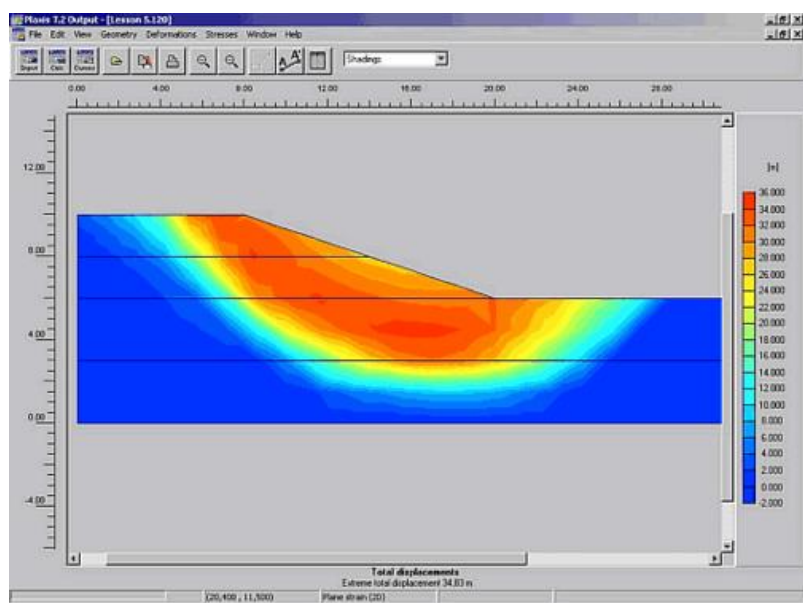


Рис.4 – Расчет устойчивости откоса.

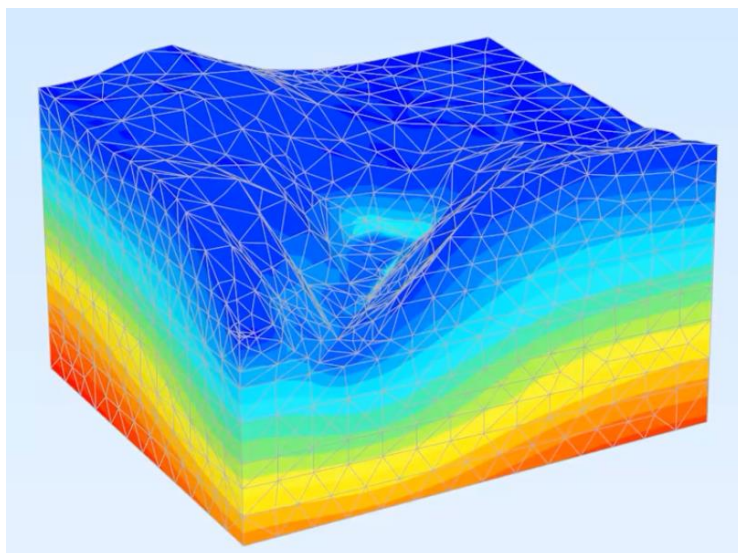


Рис. 6 – Распределение нормальных напряжений сгенерированными на конечные треугольные элементы на Plaxis 3D.

После расчетов программа предоставляет возможность вывода данных следующего характера:

- **По деформационным характеристикам** – графический вывод деформированного состояния расчетной области и доступен в виде деформированной конечно-элементной сетки, полных перемещений, приращений перемещений, полных деформаций и приращений деформаций. Все перемещения и деформации могут быть визуальны представлены с помощью векторов, изолиний и цветных контуров с соответствующими значениями.
- **По напряженным характеристикам** – графический вывод напряженного состояния расчетной области доступен в виде эффективных напряжений, полных напряжений, декартовых компонентов напряжений, полных поровых и избыточных поровых давлений. Напряжения могут быть визуальны представлены с помощью изолинии и цветных контуров с соответствующими значениями.

- **Сечения** - эта опция позволяет создавать эпюры распределения всех типов напряжений и перемещений в любом сечении в рассматриваемой геометрической модели.
- **Экспорт данных или генератор отчета.** Данная функция позволяет экспортировать полученных данных в приложение MSWord 2000-2010 операционной системы Windows, содержащее информацию о количестве треугольных элементов, узлов и кластеров, вводимые физико-механические свойства материала.
- Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод, что для моделирования напряженного состояния породных массивов, расчета устойчивости геотехнических сооружений можно эффективно использовать программный продукт Plaxis.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. «МИР», Москва 1979.
2. Электронная библиотека: <https://ru.wikipedia.org/wiki/PLAXIS>
3. Plaxis 2D – Referents manual, [electron resource], Netherlands 2011, www.plaxis.nl
4. Plaxis – инструмент инженера-геотехника. Примеры расчетов. // *CADmaster*. — 2002. — № 3. — С.62-65.
5. Plaxis version 8. General information [Electron resource]/ Plaxisbv, AN Delft, The Netherlands. – Access mode: www.plaxis.nl
6. Plaxis version 8. Material models manual [Electron resource]/ Plaxisbv, AN Delft, The Netherlands. – Access mode: www.plaxis.nl
7. http://www.nipinfor.ru/construction/engineering_calculations/10013/