

УДК 622.83:622.34 (575.2) (04)

## СОВРЕМЕННОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГЕОМЕХАНИКИ

*С.Ф. Усманов* – канд. техн. наук, доцент

---

The review of modern software-based complex applicable for estimation of rock slopes stability. At the present time, numerical modeling is prevalent in geomechanics. The problems of these programs using are stated.

Эффективная и безопасная разработка полезных ископаемых открытым способом невозможна без точного прогнозирования устойчивости горных склонов и горнотехнических сооружений, к которым относятся борта карьера, уступы, дамбы хвостохранилищ.

Жесткие требования, предъявляемые к геотехническим службам карьера и проектирующим организациям, предполагают применение современных информационных технологий. В настоящее время широкое распространение принимают методы автоматизированного непрерывного мониторинга смещений породных склонов, а также численное моделирование напряженно-деформированного состояния горного массива. Перспективы оценки устойчивости горных склонов на основе анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) существенно расширились благодаря развитию математического аппарата теории численного моделирования, программной реализации и вычислительной техники. Вместе с тем большие трудности вызывает практическое применение тех или иных моделей и методов к расчету реальных сооружений.

Метод конечных элементов (МКЭ) в настоящее время является одним из наиболее эффективных методов расчета НДС в различных задачах механики деформируемого твердого тела и горных пород, в частности.

Промышленные коммерческие комплексы с использованием МКЭ составляют весьма

внушительный список (из зарубежных – GEO-SLOPE, PLAXIS, ADVENTURE, GEOFEM, ANSYS, ADINA, ABAQUS, ALGOR, COSMOS, FINEL, NASTRAN, MARC, и др., из Российских – ПИОНЕР, ЛИРА, МИРАЖ, МОРЕ, ПАРСЕК, ПАРУС, НЕДРА и др.). Российские программы выделены отдельно, так как они имеют интерфейс на русском языке, что существенно влияет на их распространение на карьерах СНГ. По результатам анализа материалов IV Всемирного конгресса по численной механике [1] и III Международной конференции по развитию компьютерных методов в геотехническом и геоэкологическом строительстве [2] большинство исследовательских организаций ведет разработку собственных программных продуктов.

Провести полный обзор всех пакетов, реализующих метод конечных элементов, в рамках одной статьи практически невозможно. Поэтому приведем описания программ, применяющихся в научно-исследовательских работах в лаборатории Геоинформатики и учебном процессе на кафедре Физические процессы горного производства.

Программная реализация метода конечных элементов практически во всех продуктах предполагает наличие трех систем:

- Предпроцессор – формирование конечно-элементной сетки, задание физико-механических свойств материалов, определение граничных условий.

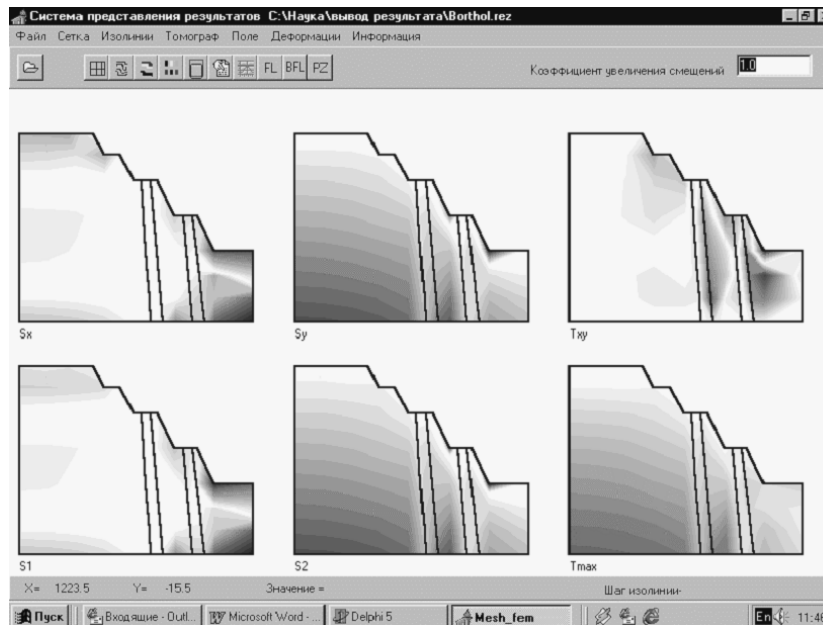


Рис. 1. Интерфейс программы Stress.

- Процессор – формирование матрицы жесткости, решение системы уравнений, выполнение итерационного решения при пластической или вязко-ползучей среде.
- Постпроцессор – вывод результатов расчетов в графическом, наиболее информативном виде, построение поверхности обрушения, оценка устойчивости горного массива.

В лаборатории Геоинформатики КРСУ разработан пакет конечно-элементного моделирования Stress [3]. Основными отличительными особенностями этого пакета являются:

- ↪ редактор конечно-элементной сетки, связанный с цифровой моделью месторождения;
- ↪ большой набор геомеханических моделей;
- ↪ возможность построения поверхности скольжения и оценки устойчивости;
- ↪ наглядное представление результатов;
- ↪ русскоязычный интерфейс, что значительно облегчает изучение и применение комплекса.

На рис. 1. представлен интерфейс программы Stress. В лаборатории накоплен большой практический опыт применения Stress для оценки устойчивости бортов карьеров Кумтор (Кыргызская Республика), Апатиты (Россия), Кустанайские минералы (Казахстан).

В рамках договора с Университетом Альберта (г. Эдмонтон, Канада) был приобретен

пакет Geo-Slope Office, широко распространенный в инженерной практике США и Канады для проектирования горнотехнических сооружений.

Пакет состоит из следующих модулей:

Slope\W – применяется для вычисления запаса устойчивости горных склонов на основе теории предельного равновесия. В модуле реализовано 8 аналитических методов расчета.

Seep\W – используется конечно-элементное моделирование для анализа задач фильтрации и распределения порового давления.

Sigma\W – реализовано конечно-элементное моделирование для определения напряженно-деформированного состояния. В пакете реализованы упругая и упруго-пластическая модели поведения среды.

Quake\W – конечно-элементное моделирование используется для анализа воздействия землетрясений на распределение напряженно-деформированного состояния.

Temp\W – используется для конечно-элементного моделирования геотермальных процессов.

Ctran\W – используется вместе с пакетом Seep/W для моделирования переноса загрязняющих веществ внутри породных массивов.

Seep\3D – трехмерное моделирование напряженно-деформированного состояния гор-

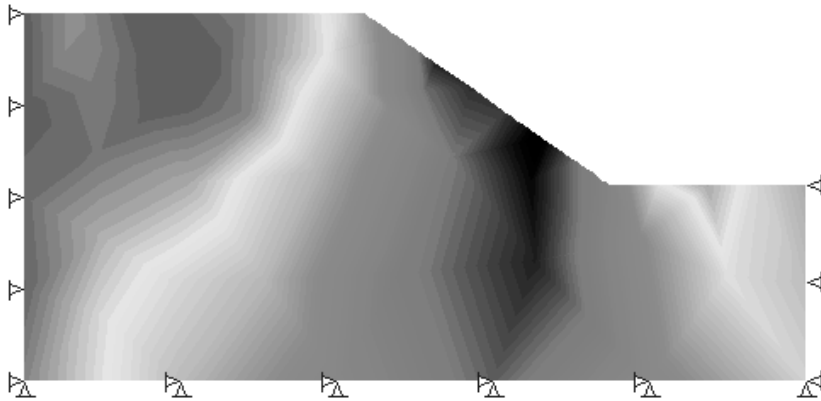


Рис. 2. Касательные напряжения, рассчитанные по программе Sigma/W.

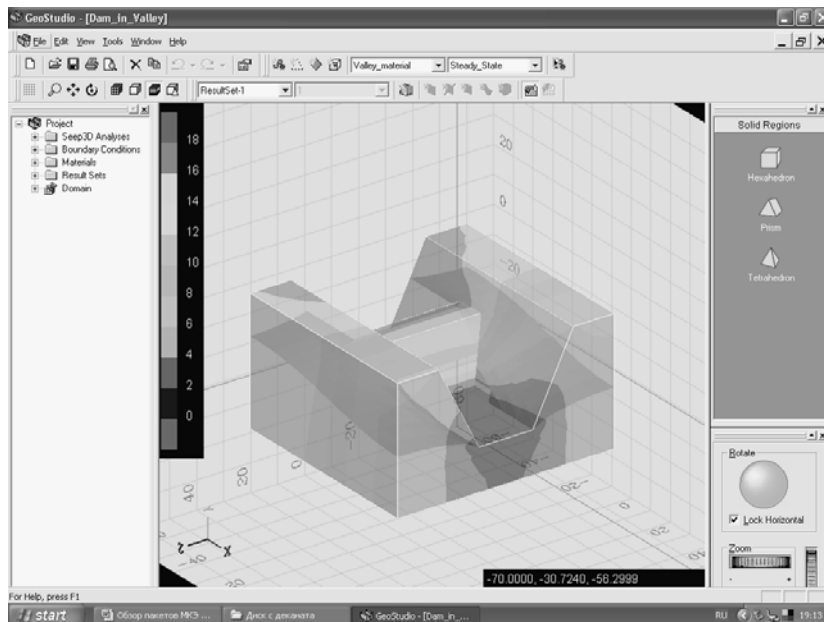


Рис. 3. Интерфейс программы Seep3D.

ных откосов. На рис. 2. представлен результат расчета откоса по программе Sigma/W.

На рис. 3. изображен интерфейс программы Seep3D и результат трехмерного моделирования НДС плотины и откосов.

Все эти модули связаны между собой. Результаты одного модуля могут использоваться как начальные условия в другом. Это позволяет решать задачу моделирования в комплексе, учитывая различные факторы, влияющие на устойчивость горного склона и геотехнического сооружения. Представленные результаты де-

монстрируют достаточно высокий уровень пакета GEO-SLOPE OFFICE. Кроме того, пакет имеет наглядный электронный учебник. Интеграция комплекса Geo-Slope Office отражает общую тенденцию к созданию единых глобальных программ, учитывающих весь комплекс нагрузок на геотехническое сооружение.

Следующим пакетом, применяемым в научных исследованиях, является пакет Adventure (ADVanced Engineering analysis Tool for Ultra large REal world), разработанный в лаборатории моделирования Токийского универси-

тета, Япония. Этот пакет относится к классу свободно распространяющихся программных продуктов. Комплекс Adventure является в настоящее время самым мощным инструментом трехмерного моделирования напряженно-деформированного состояния на основе кластерных компьютеров. Кластерные компьютеры представляют собой комплекс параллельно соединенных процессорных блоков, используемых для решения задач больших размеров. В КРСУ кластерный компьютер объединяет 64 процессора.

Пакет Adventure состоит из 5 подсистем, которые обеспечивают расчет:

- 1) Adventure\_TetMesh – подготовка пространственной конечно-элементной сетки.
- 2) Adventure\_VStool – задание граничных условий и свойств материала.
- 3) Adventure\_Metis – разбиение задачи на домены для выполнения параллельных вычислений и равномерной загрузки кластеров.
- 4) Adventure\_Solid – непосредственный конечно-элементный расчет.
- 5) Adventure\_Visual – графическое представление результатов.

В лаборатории Геоинформатики был проведен расчет борта в трехмерной постановке (рис. 4) в виде распределения касательных напряжений вдоль поверхности откоса.

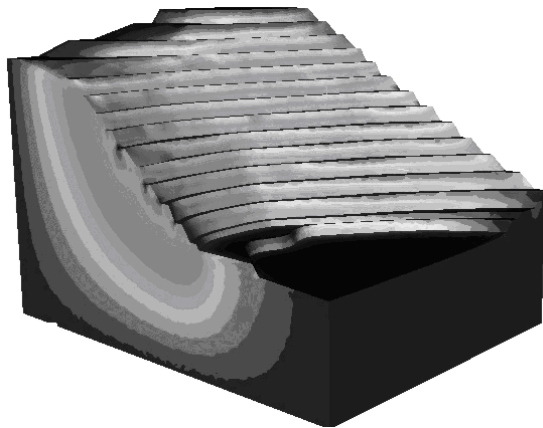


Рис. 4. Результат расчета по программе Adventure.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что, несмотря на значительное количество программных продуктов, реализующих метод конечных элементов, имеются следующие особенности, сдерживающие их распространение на практике:

1. Достаточно высокая стоимость программных продуктов и дальнейшее их сопровождение специалистами компании-разработчика (порядка нескольких десятков тысяч американских долларов).
2. Англоязычный интерфейс не позволяет широко и в полной мере использовать эти программы на карьерах Кыргызстана.
3. Программы, поставляемые на коммерческий рынок, имеют значительное ограничение в геомеханических моделях и требуют значительной доработки, чтобы учесть реальные условия месторождения. Такой пакет, как Adventure, требует специального вычислительного комплекса.
4. Помимо чисто экономических аспектов, следует отметить ориентацию этих комплексов на некую усредненную (усеченную) универсальность – попытка удовлетворить запросы специалистов из весьма отдаленных областей. При этом, например, некоторые подходы, вполне приемлемые в области машиностроения, могут оказаться недостаточными или даже неверными, скажем, для проблем механики грунтов и скальных пород.

#### Литература

1. Computational Mechanics. New Trends and Applications. Idelsohn S., Onate E., Dvorkin E. (Eds.) – CIMNE, Barcelona, Spain, 1998.
2. Geocology and Computers. Yufin S.A. – A.A. Balkema /Rotterdam/ Brookfield. – 2000. – 540 p.
3. Коваленко В.А, Усманов С.Ф. Система моделирования напряженного состояния “Stress” / Математическое моделирование в механике сплошных сред на основе методов граничных и конечных элементов: Докл. XVII междунар. конф. – СПб.: НИИХ СПбГУ, 1999. – 324 с.