

УДК 622.83:622.34 (575.2) (04)

РАСЧЕТ ПРОСТРАНСТВЕННОГО НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БОРТА КАРЬЕРА

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

В.Г. Долгушев – ст. научн. сотр.

Приведены результаты расчета напряженно-деформированного состояния породных массивов. Для расчетов использовали вычислительный комплекс с применением программы пространственного моделирования "Adventure". Исследовано напряженно-деформированное состояние бортов карьера Костомукша.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние; карьер.

В настоящее время для оценки устойчивости бортов карьеров трехмерное моделирование напряженно-деформированного состояния породных массивов не нашло широкого применения. Это объясняется рядом причин:

- нормативно-методические документы, регламентирующие определение запаса устойчивости, рассчитаны на двумерные расчеты;
- нет достаточного количества общедоступных программных пакетов, реализующих трехмерное численное моделирование;
- многие проектные организации не имеют мощных вычислительных ресурсов, необходимых для сложных трехмерных расчетов;
- высокая стоимость программного и технического обеспечения трехмерного моделирования;
- высокая трудоемкость и сложность в подготовке исходных данных и анализе результатов;
- сложность в определении поверхности скольжения и в оценке устойчивости породного массива.

В то же время современные требования к оценке устойчивости бортов карьеров предполагают проводить анализ напряженно-деформированного состояния в полном объеме. Особенно это касается породных массивов со сложной, крайне неоднородной геологической структурой. Карьеры в высокогорных районах имеют сложный рельеф и топографическую поверхность, следовательно, без учета пространственного распределения поля напряжений адекватно прогнозировать устойчивость склонов невозможно. Таким образом, достоверное изучение напряженно-деформированного состояния породного массива высокогорных районов должно

обязательно производиться с позиций трехмерного моделирования.

Очень важно при трехмерном моделировании учитывать различные факторы, влияющие на распределение напряженно-деформированного состояния. Поэтому цель трехмерного моделирования напряженно-деформированного состояния породного массива заключается в построении вычислительной схемы получения поля напряжений и деформаций в пространстве с учетом различных факторов.

Постановка задачи трехмерного моделирования заключается в следующем:

- формировании необходимого и достаточно объема исходных данных;
- методическом обосновании применяемых расчетных методов и средств;
- разработке методики анализа результатов расчета.

Следует отметить, что современный математический аппарат, программные средства и вычислительные ресурсы позволяют в достаточной мере адекватно моделировать напряженно-деформированное состояние породного массива на основе трехмерной постановки задачи.

Достоверность моделирования зависит, в первую очередь, от полноты исходной информации. Информационный базис для геомеханического расчета деформированного состояния формируется различными службами карьера. От оперативного взаимодействия этих служб зависит достоверность прогноза состояния борта карьера и отдельных его участков. Общие параметры бортов карьеров определяются проектирующими карьер организациями (отделами) и согласуются с государственными надзорными

органами. В зависимости от принятых на карьере административных условий за оперативную устойчивость бортов могут отвечать маркшейдерский или геологический отдел, либо специально созданная геомеханическая служба. Трехмерное моделирование напряженно-деформированного состояния массива может применяться на разных стадиях проектирования и эксплуатации карьера различными заинтересованными службами. Оценка устойчивости борта и отдельных уступов производится как на этапе проектирования карьера, так и при разработке месторождения.

На основании исходных данных, сформированными специальными программами генерации конечно-элементной сетки и задания граничных условий, выполняется расчет напряженно-деформированного состояния породного массива. Моделирование пространственного поля напряжений позволяет учесть сложную геометрию и структуру массива. В качестве примера рассмотрим расчет борта карьера Центральный месторождения Кустомукша. На рис. 1 представлена конечно-элементная сетка рассчитываемой области.

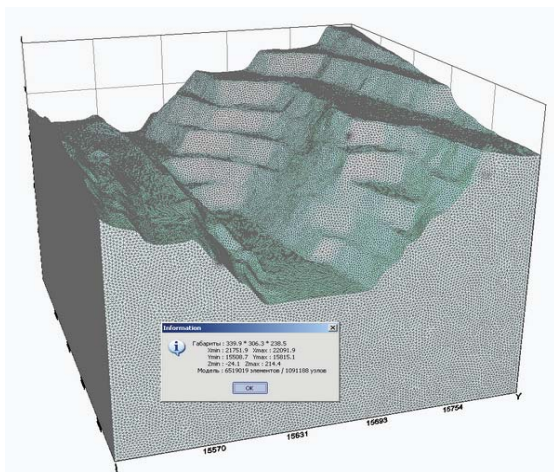


Рис. 1. Конечно-элементная сетка.

Размеры области составляют $340 \times 306 \times 238$ м, область разбита на 6519019 элементов и включает 1091188 узлов. Геометрические параметры и форма области взяты из цифровой модели месторождения.

Результаты расчетов представлены в виде распределения напряжений и деформаций. На рис. 2 изображено распределение напряжений σ_{xy} в вертикальном сечении. На нем можно четко выделить области на обоих бортах карьера, потенциально опасные к обрушению.

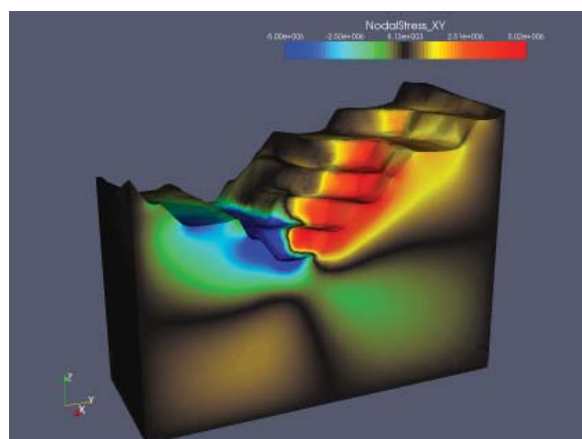


Рис. 2. Распределение напряжений σ_{xy} .

Эквивалентные напряжения, возникающие в борту карьера, представлены на рис. 3. Сложная геометрия карьера в значительной мере влияет на распределение напряженно-деформированного состояния борта карьера (рис. 4).

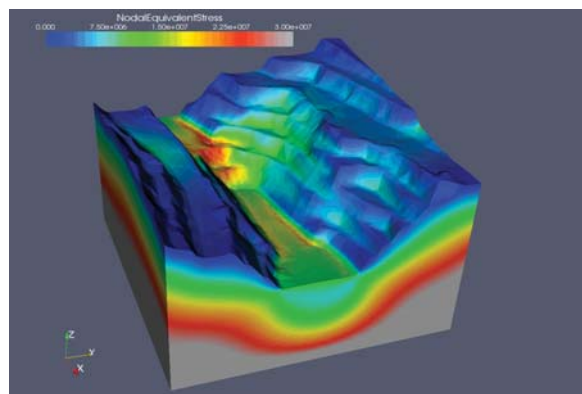


Рис. 3. Эквивалентные напряжения.

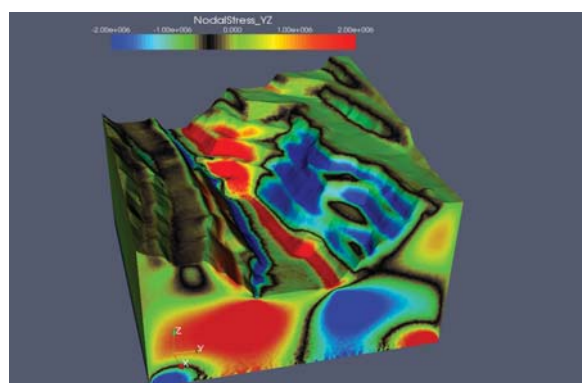


Рис. 4. Распределение напряжений σ_{yz} .

Таким образом, трехмерное моделирование напряженно-деформированного состояния борта карьера месторождения Костомукша продемонстрировало необходимость пространственного решения геомеханической задачи. Трехмерное моделирование карьера Костомукши позволило выделить потенциально опасные оползневые зоны. Кроме того, в инженерной практике редко рассматривается устойчивость противополож-

ных карьеров в рамках единой задачи. Влиянием общей геометрии карьера, особенно, имеющего такую протяженность, как Костомукша, нельзя пренебрегать. Подобная задача возникает при моделировании напряженно-деформированного состояния бортов каньона гидроэлектростанций, возводимых в условиях высокогорья (Токтогульская, Курпсайская, Камбар-Атинская ГЭС в Кыргызстане или Рогунская ГЭС в Таджикистане).