

подключиться к любой другой БД этой структуры (при наличии у него прав для этого). Для централизации данного процесса предполагается создать дополнительный программный сервер, который будет знать о местоположении всех работающих БД и краткое описание их содержимого.

Для осуществления обмена информации между различными БД, построенных на данной технологии, предполагается использовать формат XML.

К настоящему моменту на кафедре САПР БНТУ создано две реализации изложенного подхода: первая реализация выполнена в виде СОМ-сервера в среде Visual FoxPro, а вторая в форме трехзвенной информационной системы с базой данных в Interbase и клиент-серверной частью в Delphi.

УДК 519.63

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД С ВЫРАБОТКОЙ

Журавков М.А., Напрасникова Ю.В.

Белорусский государственный университет

Минск, Беларусь

При проведении горных работ в окрестности выработки развивается такое напряженно-деформированное состояние (НДС) породы, при котором могут возникнуть трещины или произойти обрушение кровли выработки [1]. Поскольку при возникновении трещиноватости в область выработки могут проникать грунтовые воды, а обрушение кровли увеличивает опасность эксплуатации выработки, то необходимо уметь рассчитывать НДС в окрестности выработки.

В данной работе предлагается построение расчетной схемы и решение задачи в упругой постановке. На основе этой задачи с помощью существующих алгоритмов можно решить задачи, более приближенные к реальным, например, учесть реологические эффекты.

Постановка задачи

В настоящее время основным месторождением по добыче калийных солей в Беларуси является Старобинское месторождение.

Проанализировав геологический профиль этого месторождения, были выделены участки, имеющие одинаковую структуру. Поскольку выработка протяженная, то можно ввести предположение о плоском деформируемом состоянии и составить соответствующую расчетную схему.

Выработка располагается на глубине 1000 м, имеет следующие размеры — длина выработки 100 м, высота выработки 6 м. Размер рассматриваемой области выбирается таким, чтобы граничные условия не оказывали влияния на распределение напряжений и перемещений в окрестности выработки. Это достигается, когда расстояние от границы выработки до границы рассматриваемой области принимается равным, по крайней мере, шести длинам выработки.

Определяющими уравнениями являются уравнения Навье, которые имеют следующий вид:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial X} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial Y} = 0$$

$$\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial X} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial Y} - \rho * g = 0.$$

Здесь σ_x , τ_{xy} , σ_y — соответствующие напряжения, ρ — плотность материала в слое, g — ускорение свободного падения.

Предполагается, что напряжения возникают только под действием массовых сил тяжести.

Граничные условия имеют следующий вид

На боковых вертикальных гранях выделенной области:

- касательные напряжения равны нулю;
- нормальные напряжения равны $(-\nu\rho\gamma(H-y))/(1-\nu)\rho x$.

Здесь lx — компонента внешней нормали к соответствующей грани.

На нижней границе расчетной области:

- перемещения вдоль оси OY u равны нулю;
- касательные напряжения равны нулю.

На верхней границе и на контуре выработки:

- нормальные и касательные напряжения равны нулю (условия свободной поверхности).

Таким образом, мы построили двумерную расчетную схему для расчета многослойной среды при наличии выработки в предположении об изотропности материала в каждом из регионов в пределах упругого деформирования. Каждый из слоев имеет свои характеристики (модуль Юнга, плотность).

Для того чтобы убедиться в адекватности модели, было проведено тестирование, позволяющие сравнить результаты численного расчета с известными аналитическими решениями.

Рассматривалась тестовая задача определения НДС в массиве горных пород с горизонтальной одиночной выработкой кругового поперечного сечения.

Полученные результаты, численного решения по определению НДС в массиве с подземной выработкой хорошо согласуются с аналитическим решением.

Построение характерных зон подрабатываемого массива

Таким образом, теперь можно перейти к рассмотрению расчетной схемы для реальной задачи.

Известно, что механические процессы в массиве горных пород при производстве горных работ связаны с формированием дополнительных смещений (это обусловлено тем, что механические процессы, связанные с формированием начальных смещений, вследствие наличия гравитационных сил, давно закончились).

Таким образом, для оценки распределения смещений в породном массиве следует построить полное поле смещений, соответствующее полному полю напряжений. Затем из полного поля смещений необходимо вычлест начальное поле смещений, соответствующее начальному напряженному состоянию массива. Причем такая методика оценки распределения смещений справедлива для породных массивов, подчиняющихся как линейному, так и нелинейному законам деформирования. То есть выработка проводится в ранее нагруженном массиве, в котором деформации от воздействия гравитационных сил уже произошли.

Для доказательства корректности использования предложенных схем при выполнении численного моделирования и исследования геомеханических процессов в подработанной породной толще решалась еще одна тестовая задача по выделению характерных зон в подработанном массиве горных пород.

На рис.1 — рис.3 представлены результаты компьютерного решения соответствующей задачи. Рассматривалась область породной толщи с очистной выработкой ширины 100 м и высотой 6 м.

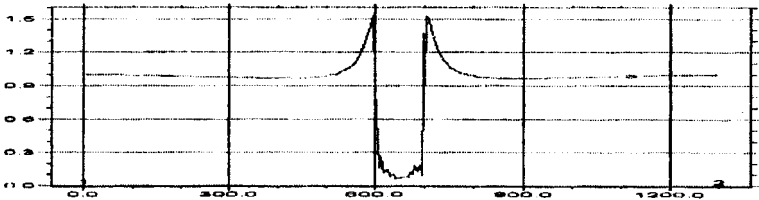


Рис. 1. Распределение отношения $\sigma_1/\gamma H$ (опорного давления) по горизонтальной прямой (координата x) по кровле выработки

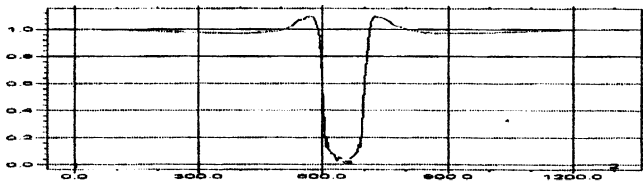


Рис. 2. Распределение отношения $\sigma_1/\gamma H$ (опорного давления) по горизонтальной прямой (координата x) на линии, находящейся на 10 м выше кровли выработки

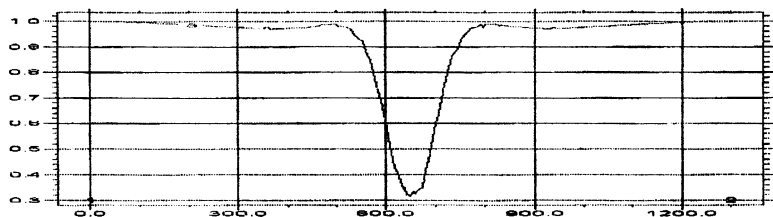


Рис. 3. Распределение отношения $\sigma_1/\gamma H$ (опорного давления) по горизонтальной прямой (координата x) на линии, находящейся на 50 м выше кровли выработки

На рис. 1 – рис. 3 представлены картины распределения горного давления на разных горизонтах породной толщи от обрабатываемого пласта. Как следует из этих рисунков, полученная в результате расчетов картина распределения горного давления полностью соответствует картине, построенной по результатам аналитических и экспериментальных исследований:

- в области выработанного пространства наблюдается область разгрузки (горное давление меньше по величине уровня естественного напряженного состояния);

- с удалением от обрабатываемого пласта наблюдается уменьшение максимального значения опорного давления, а зона опорного давления расширяется.

На рис. 4 показан фрагмент рассчитанной области разрушения массива горных пород, непосредственно примыкающей к кровле выработки (область напряжений растяжения). В пределах 8 м от границы выработки мощность зоны разрушения не превышает высоты выработки.

На рис. 5 изображены изолинии распределения максимальных касательных напряжений. Как следует из приведенного рисунка, они совпадают с аналогичными картинками, полученными другими способами и приведенными в литературных источниках. Используя предельное условие вида $\tau_{\max} < \tau_{\text{lim}}$, можно определить область, в которой проявляются линии скольжения (зона трещиноватости). Например, при $\tau_{\text{lim}} = 0,6 \cdot 107 \text{ Па}$ эта область будет распространяться не более чем на 75 м.

Таким образом, получены следующие результаты:

- Сформулирована задача по расчету НДС в окрестности горной выработки в предположении об изотропности материала и наличии слоев с различными свойствами в пределах упругого деформирования

- Получена расчетная схема для соответствующей граничной задачи

- Выполнено тестирование расчетной схемы на известной задаче о НДС вокруг круглой выработки. Результаты тестирования показали хорошее со-

наделение численного и аналитического решений, что дает уверенность в правильности выбора расчетной схемы

— При расчетах на основе реальной расчетной схемы получены картины распределения напряжений и смещений и характерные зоны подрабатываемого массива. Геометрия полученных зон согласуется с экспериментальными данными.

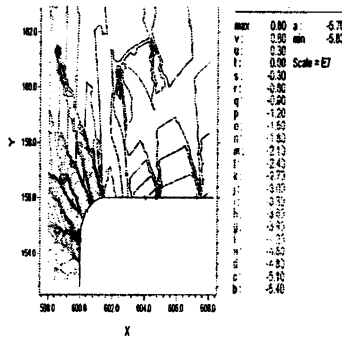


Рис.4. Область растяжения в окрестности кровли выработки

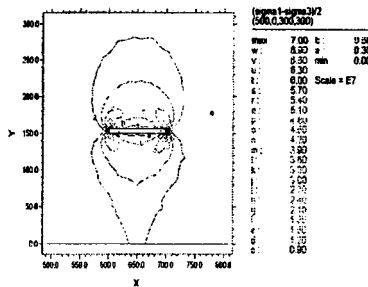


Рис.5. Изолинии расчетных значений $\tau_{\max} = (\sigma_1 - \sigma_3)/2$ в окрестности выработанного пространства

Вывод: Предложенная численная модель может быть использована в качестве основы для более детального изучения поведения породы в окрестности выработки при введении физической нелинейности в поведении материала и зависимости от времени.

1. Журавков М.А., Мартыненко М.Д. Теоретические основы деформационной механики блочно-слоистого массива соляных пород. Мн.: Універсітэцкае, 1995. —255 с.