

СЕРГЕЙ НЕГРЕЙ ДМИТРИЙ КУРДЮМОВ ВЛАДИМИР МОКРИЕНКО

Донецкий национальный технический университет

Кафедра разработки месторождений полезных ископаемых

snegrey@ukr.net kurddm@gmail.com mokrienko.vladimir@gmail.com

пучение – мкэ- визуализация – напряжения - смещения

Использование визуализации траекторий смещений при изучении деформации массива горных пород и анализа с применением методики PLAXIS

Аннотация: Методики эквивалентного моделирования геомеханических процессов дает адекватную картину деформации массива горных пород, но они очень трудо- и материалоемкие по своему исполнению. Использование компьютерного моделирования методами конечных элементов позволяет визуализировать динамику формирования нагрузок и получить как качественные, так и количественные параметрам напряжений и смещений массива горных пород.

Введение. В современной литературе достаточно много уделено внимания математическим методам моделирования. Наиболее широкое распространение получил метод конечных элементов (МКЭ). Метод конечных элементов в сочетании с мощными ЭВМ допускает использование моделей материалов практически любой степени сложности [1] в существующих системах автоматизации инженерных расчетов и анализа таких как: ANSYS, LS-DYNA, Nastran, Abaqus, T-FLEXCAE, Deform, Qform, PLAXIS т.д. Последняя выгодно отличается от своих аналогов простым пользовательским интерфейсом, высокой точностью расчетов, а также, учетом нелинейности сыпучей среды. С её помощью был выполнен ряд серьезных инженерных проектов: расчет оседания поверхности в результате проведения горных работ щитовым способом в строительстве линии метрополитена U8Nord г. Мюнхена, исследование устойчивости и деформации борта глубокого бурогоугольного карьера «Мавропиги» [2], и др.

Нерешенная область задач. В публикациях мало уделяется внимания такому элементу постпроцессора, как визуализация траекторий напряжения/смещения, которая дает возможность более детально изучить поведение моделируемой среды и облегчает анализ рассчитанных в PLAXIS результатов.

В связи с этим, **целью работы** является знакомство с методикой визуализации траекторий смещений для изучения процессов деформации горных пород в системе автоматизации инженерных расчетов и анализа PLAXIS.

Основная часть. В качестве примера рассмотрен пучающий слой пород почвы в одиночной горной выработке. Для этого в системе автоматизации инженерных расчетов и анализа PLAXIS была построена модель одиночной горной выработки прямоугольного сечения проведенной в массиве горных пород, к верхней части которого приложена равномерная нагрузка (100 кН/м^2).

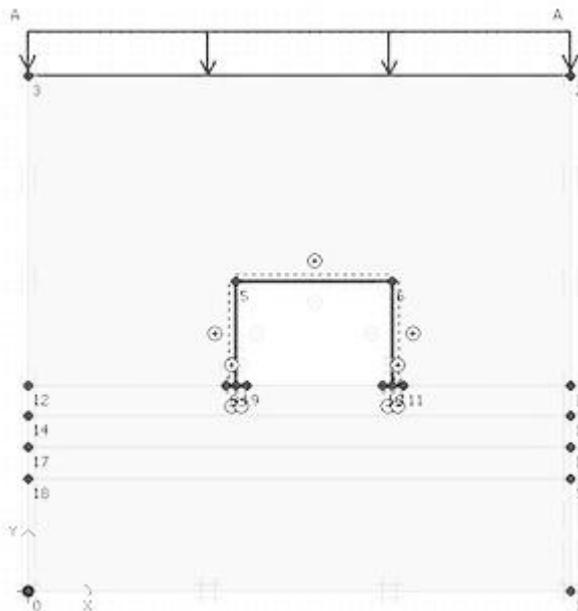


Рисунок 1. Общий вид модели.
Figure 1. The main view of model

Со следующими свойствами массива горных пород:

Параметр	Наименование	Грунт	Ед. изм.
Модель материала	<i>Model</i>	Мор-Кулон	-
Тип поведения материала	<i>Type</i>	Дренажные й	-
Удельный вес грунта	γ_{unsat}	17	кН/м ³
Удельный вес насыщенного грунта	γ_{sat}	20	кН/м ³
Проницаемость в горизонтальном направлении	k_x	1,0	м/сутки
Проницаемость в вертикальном направлении	k_y	1,0	м/сутки
Модуль Юнга (константа)	E_{ref}	40000	кН/м ²
Коэффициент Пуассона	ν	0,3	-
Сцепление (константа)	c_{ref}	1,0	кН/м ²
Угол трения	ϕ	32	°
Угол дилатансии	ψ	2,0	°
Коэф-т снижения прочности в интерфейсах	R_{inter}	0,67	-

И свойствами материала ограждающей стенки :

Параметр	Наименование	Значение	Ед. измерения
Тип поведения	<i>Material type</i>	Elastic	
Нормальная жесткость	<i>EA</i>	$7,5 \cdot 10^6$	кН/м
Изгибная жесткость	<i>EI</i>	$1,0 \cdot 10^6$	кНм ² /м
Эквивалентная толщина	<i>d</i>	1,265	м
Вес	<i>w</i>	10,0	кН/м/м
Коэффициент Пуассона	<i>\nu</i>	0,0	-

По окончании расчета напряженно-деформированного состояния, меню постпроцессора *Деформации (Deformations)* позволяет увидеть различные деформации в конечно элементной модели (рис.2) Опция, *Деформированная сетка (Deformed mesh)*, представляет деформированную сетку конечных элементов, наложенную на недеформированную геометрию системы. Эта опция может быть выбрана в подменю *Deformations (Деформации)*. По умолчанию отображаемые величины автоматически масштабируются с коэффициентом (1,2 или 5)*10n для получения легко читаемых графиков. Если требуется посмотреть деформации в истинном (т.е. в геометрическом) масштабе, это можно сделать с помощью опции *Scale (Масштаб)*. Опция *Полные перемещения (Total displacements)* представляет полные векторные перемещения $|u|$ во всех узлах в конце текущего шага вычисления, отображенные на недеформированной геометрической сетке. Кроме полных векторных перемещений пользователь может отдельно посмотреть их горизонтальные u_x и вертикальные u_y составляющие. Эти опции могут быть выбраны из подменю *Deformations (Деформации)*. Перемещения могут быть представлены как количественно, с помощью контуров (*Contours*) или заливки (*Shadings*), так и качественно, с помощью стрелок/векторов (*Arrows*), указывающих направление смещения, длина которых пропорциональна величине смещения в данной точке.

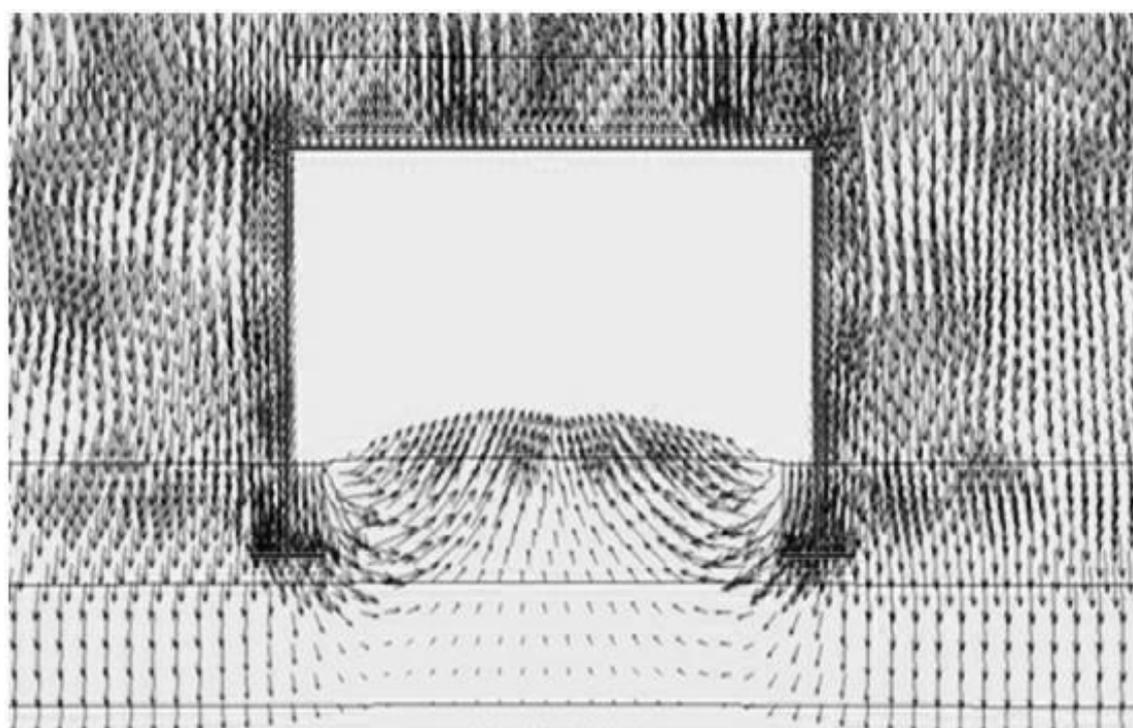
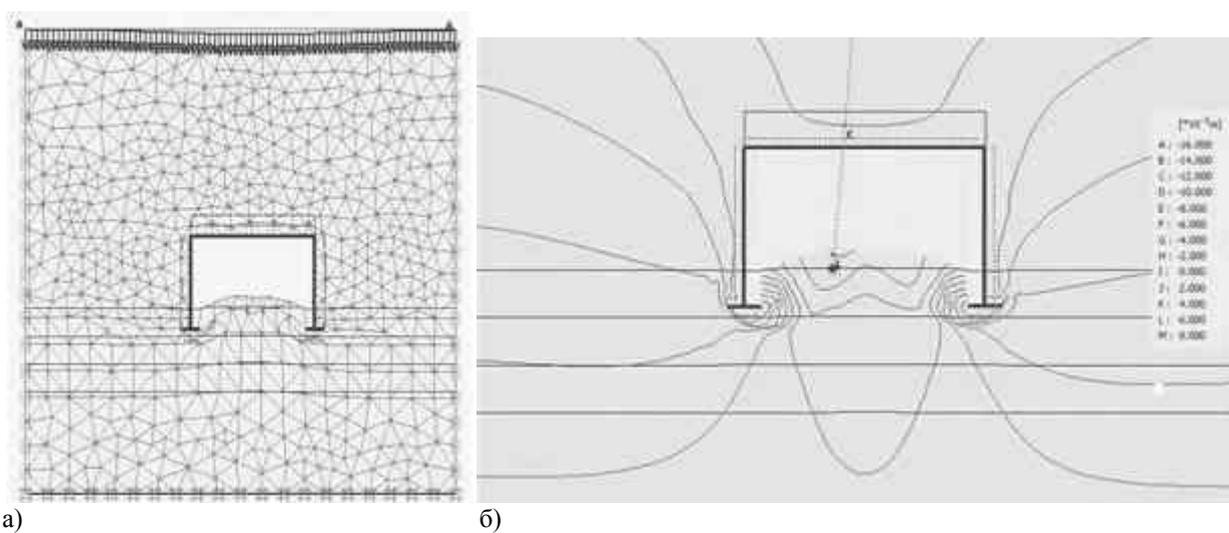


Рисунок 2. Результаты моделирования, где а - деформированная сетка, б - контуры вертикальных составляющих смещений (u_y), в - векторное отображение общих смещений

Figure 2. The results of the of modeling, where a - deformed mesh, b - the contours of the vertical components of displacement (u_y), c - vector map of the general displacement

Выводы: Таким образом, методика визуализации траекторий смещений для изучения процессов деформации горных пород в системе автоматизации инженерных расчетов и анализа PLAXIS, дает широкие возможности для изучения процессов деформации горных пород.

Литература

- [1] Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. М.: Недра, 1987. 221 с.
- [2] Л.А. Строкова Моделирование оседания поверхности при проходке туннеля щитовым способом // Известия Томского политехнического университета. Гидрогеология и инженерная геология. - 2008. - Т. 312. № 1. – С.151-156. Библиогр.: с.156.
- [3] PLAXIS Версия 8 Справочное руководство.

SERGEJ NEGREJ DMITRI KURDIUMOW VLADIMIR MOKRIJENKO

Using the visualization of trajectories of displacement in the investigation deformation of rock mass and analysis using the method PLAXIS

swelling - FEM - Visualization - stress – displacement

Abstract: Techniques of the equivalent simulation of the geomechanical processes gives an adequate picture of deformation of rock, but they are very labor-and resource in its execution. Using a computer simulation of the finite element method allows to visualize the dynamics of forming loads and obtain both qualitative and quantitative parameters of stress and displacement of rock mass