

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения
Российской академии наук

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**Перспективные материалы
с иерархической структурой
для новых технологий
и надежных конструкций**

19 - 23 сентября 2016 г.

Томск, Россия

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

фундамента. Тем не менее, открытыми остаются вопросы о влиянии глубины на строение этих структур.

В работе выполнено трехмерное численное моделирование формирования и развития нарушений в слое геосреды при разрывном сдвиге основания. Постепенное увеличение толщины деформируемого слоя имитирует накопление осадков. Использована упругопластическая модель Друккера-Прагера-Николаевского в динамической постановке. Граничные условия в напряжениях на нижней грани задают сдвиг упругого основания с разрезом. Рост давления вышележащих пород на верхней грани определяет накопление осадков.

Проведенные расчеты показали, что форма и ориентация нарушений зависит от напряженного состояния, определяемого суммарной толщиной слоя, а также упругих и прочностных свойств. При высокой прочности породы увеличение толщины слоя приводит к более позднему зарождению эшелонированной системы кулисообразных поверхностей скольжения. Соответственно инициация и развитие нарушений происходит при большей величине сдвига и большем повороте главных осей напряжений, и в результате увеличивается угол наклона поверхностей нарушений к оси сдвига. При низкой прочности слоя возможен переход в неупругое состояние за счет веса вышележащей породы. В этом случае развитие нарушений будет протекать при существенно меньшем сдвиге в основании, а нарушения будут иметь иную, по сравнению с первым случаем, ориентацию и строение: меньший угол наклона поверхностей и раннее развитие магистрального субвертикального разлома.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД С УЧЕТОМ ИХ СТРУКТУРЫ В ТРЕХМЕРНОЙ ПОСТАНОВКЕ

Ахметов А.Ж., Смолин И.Ю., Кульков А.С., Макаров П.В.
НИ Томский государственный университет, Томск, Россия,
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия
ayan.akhmetov93@gmail.com

Изучение общих закономерностей эволюции напряженно-деформированного состояния элементов горных массивов разных масштабов, а также механизмов формирования зародышей разрушения, имеет не только фундаментальное, но также и прикладное значение для усовершенствования горных технологий. При этом важно учитывать имеющиеся неоднородности строения горных пород на разных масштабных уровнях, так как физико-механические свойства пород обусловлены, главным образом, минеральным составом и текстурно-структурными особенностями их строения.

Для изучения структуры образцов песчаников и алевролитов был применен метод рентгеновской томографии. На каждый образец размером $10 \times 10 \times 10$ мм приходилось около 1500 слоёв. В изученных образцах алевролита выделены четыре основных значимых структурных элемента: лёгкие минералы, представленные кварцем, плагиоклазом и калиевыми полевыми шпатами; тяжёлые обломки пород и рудные минералы; прослойки повреждённого материала; поры. Образцы песчаника имели схожие структурные элементы и отличались размерами и композицией компонентов. Также в них наблюдалось большее количество обломков пород и рудных минералов, которые создают косую слоистость по нескольким граням образцов.

Поскольку имеющаяся точность томографии является избыточной для трехмерного моделирования современными компьютерами, для построения структурной трехмерной модели образцов горных пород были отобраны наиболее представительные слои проекционной томографии с шагом в 10-15 слоёв.

Используя построенные трехмерные геометрические модели структурно-неоднородных образцов горных пород, численно было изучено напряженно-

8. Иерархическая организация объектов в геодинамике

деформированное состояние этих образцов в условиях одноосного сжатия. Расчеты проведены конечно-разностным методом в трехмерной постановке с применением упругопластической модели Друккера-Прагера-Николаевского. Были выявлены очаги зарождения пластических деформаций в образцах, располагающиеся в местах стыка структурных составляющих с сильно различающимися механическими свойствами. Указанные особенности напряженно-деформированного состояния образцов горных пород важны для анализа механизмов формирования и развития зон разрушения.

НЕЛИНЕЙНОЕ ПОВЕДЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Стефанов Ю.П.

Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия,

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия

yu_st@mail.ru

Построение математических моделей поведения геологической среды осуществляют на основе экспериментальных данных по деформированию образцов горных пород в разных условиях. В зависимости от возможного диапазона нагрузки и условий, которые может испытывать среда, учитываются те или иные особенности поведения, наблюдаемые в испытаниях. Как правило, в моделях не учитывают начальный нелинейный участок деформирования, а также предполагают линейную разгрузку. Кроме того, немаловажно значение имеет интерпретация диаграмм нагружения на этапе разрушения. Все это необходимо при построении математической модели и получения верных соотношений между свойствами образцов и свойствами породы в естественных условиях, а также дальнейшего моделирования процессов.

Экспериментальные данные показывают, что на начальном этапе деформации практически всегда существует более пологий, чем упругий участок нелинейности. Однако при расчетах и интерпретации данных такие особенности не принимаются во внимание, т.к. начальная нелинейность не велика и во многих случаях не существенна при решении задач. В то же время, при определенных обстоятельствах игнорирование начальной нелинейности не позволяют учитывать и описывать достаточно важные процессы, в том числе чувствительность свойств горных пород к напряженному состоянию.

Еще одна, более важная особенность нелинейного деформирования связана с разгрузкой. В ряде случаев наблюдается сложный вид диаграммы нагружения после снятия нагрузки в образцах. Наблюдается частичное восстановление объема образца, не смотря на очевидное наличие деформации за пределом упругости и дилатансии. Таким образом, дилатансия может иметь частично обратимый характер.

В работе представлен анализ основных стадий деформирования образцов горных пород и вариант модели, позволяющий описывать указанные нелинейные особенности поведения горных пород. Показано, что на этапе разгрузки нелинейность поведения связана с частичным закрытием трещин, накопившихся на этапе деформирования за пределом упругости. Величина обратимости связана с достигнутой степенью деформирования и интенсивностью касательных напряжений.

С использованием предложенной модели выполнены расчеты, иллюстрирующие поведение образцов с учетом нелинейности на начальном участке деформирования и при разгрузке, с учетом частично обратимой дилатансии. Приведены примеры, где учет нелинейности имеет большое значение для описания процессов деформации в геологической среде и объяснения наблюдаемых явлений.