

О МОДЕЛИРОВАНИИ СТОХАСТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД В ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ РАСЧЕТАХ

Розглянуто можливість моделювання в геомеханічних розрахунках мінливості властивостей гірських порід, які представлено як випадкові функції координат простору з тим чи іншим законом розподілу. Запропоновано в алгоритм методу скінчених елементів включити процедуру генерування випадкових значень вихідних даних відповідно до імовірнісного закону розподілу, встановленого за результатами випробувань.

MODELING STOCHASTIC DISTRIBUTION OF MINE ROCK PROPERTIES IN GEOMECHANICAL INVESTIGATIONS.

The possibility of modeling a changeability of mine rock properties presented as space coordinates with different distributive law random function in geomechanical calculations is considered. Procedure of generating random data according to distributive law of probability is proposed to include in an algorithm of finite-element method.

Естественным свойством горных пород, обусловленным сложной предысторией их образования, является текстурно-структурная неоднородность породной среды, которая проявляется при любых масштабах исследования. В зависимости от размеров неоднородностей М.В. Рац [1] классифицирует их, выделяя четыре порядка (уровня), которые охватывают диапазон линейных размеров от 10^{-6} до 10^6 см. В [2] отмечается, что для описания реальной геологической среды с учетом неоднородностей различных уровней правомерно представлять ее математической моделью, содержащей регулярную (закономерную) и случайную составляющие. Так, неоднородность пород, связанная с дефектами кристаллической решетки (неоднородность микроуровня, т.е. неоднородность IV порядка по классификации М.В. Раца), наличие случайным образом распределенных микротрещин и других особенностей порождает случайный характер распределения свойств массива. Это проявляется при испытании породных образцов в виде значительной изменчивости изучаемого количественного признака.

Особенностью механического состояния породного массива является его естественная напряженность, имеющая место до начала производства горных работ. Стохастический характер свойств породного массива вызывает неоднородность сформировавшегося силового поля. Проведение выработок в массиве вызывает формирование нового напряженного состояния пород в области массива, примыкающей к контуру выработки. Новому напряженному состоянию присуща та же неоднородность, что и естественному полю, поскольку последнее является его составляющей, которую обычно называют начальным полем напряжений. Другая составляющая – дополнительное поле напряжений, носит закономерный характер и тесно связана с формой образуемой полости, ее размерами, близостью параллельных или пересекающих ее полостей, а также наличием неоднородностей мезо – и макроуровней (слоистость, тектонические трещины, пустоты, геологические нарушения). Мгновенное, скачкообразное перераспределение напряжений создает условия для развития новых неоднородностей.

родностей различных порядков: от разрыва межатомных связей [3] до интенсивного развития хаотической трещиноватости в приконтурной зоне, затухающей по мере удаления в глубь массива.

При определенном уровне концентрации напряжений породы в приконтурной зоне претерпевают структурные изменения, влекущие за собой изменения механических характеристик массива, в частности, его способности сопротивляться увеличению напряжений. По уже сложившимся в последние десятилетия представлениям вокруг выработки образуются области неупругих деформаций [4], которые могут охватывать весь контур выработки или отдельные его части. В свою очередь, установление крепи, противодействующей интенсивному перемещению пород в нарушенной зоне и создающей определенный отпор, вновь вносит изменения в поле напряжений вблизи контура выработки, под влиянием которого возможны очередные изменения структуры массива (уплотнения пород за счет закрытия контактов, смыкание берегов трещин). Таким образом, породный массив, обнажение и крепь представляют собой единую взаимовлияющую систему, взаимодействие элементов которой подчиняется определенным закономерным тенденциям, но в то же время, испытывая совокупное влияние неоднородностей естественного и искусственного происхождения, носит стохастический характер.

На выявление закономерной составляющей направлены, собственно, аналитические и численные методы определения компонентов напряженно-деформированного состояния пород в окрестности выработок, основанные на положениях механики сплошной среды, либо решения, базирующиеся на представлении горной породы как дискретной среды. Значительность успехов в этом направлении столь же велика, сколь многообразны подходы к решению задач, связанные с представлениями о механизме взаимодействия массива с крепью, с выбором деформационной модели среды. В рамках детерминированных моделей нашло отражение и стремление учесть неоднородность массива, проявляющуюся в виде анизотропии свойств горных пород. Однако учет изменений свойств в определенном направлении вносит в решение лишь еще одну закономерную составляющую. Случайный же, некоррелированный разброс свойств пород, обусловленный действием неоднородностей различных порядков остается за пределами рассмотрения. Тем самым вне поля зрения остается случайная, «шумовая», составляющая общей закономерности взаимодействия сложной механической системы «массив-выработка-крепь».

Возможности учета неоднородностей макро- и мезоуровней расширились в последнее время благодаря интенсивному развитию численных методов (конечных, граничных, дискретных элементов).

Рассмотрим также возможные пути отражения в геомеханических расчетах влияния неоднородностей микроуровня, проявляющегося в статистическом разбросе свойств горных пород.

В работе [5] отмечается, что вследствие неоднородности породной среды ее свойства нельзя охарактеризовать одним числовым значением параметра, так как реакция среды на внешнее механическое воздействие будет различной в пределах различных участков этой среды. Отсюда понятно, что свойства неод-

нородного массива должны описываться некоторой функциональной зависимостью механических характеристик от пространственных координат, т.е. в виде функции $\Phi(\vec{r})$, где \vec{r} – радиус-вектор точки массива. Вид этой функции, даже если бы она была построена, оказался бы очень сложным и нерегулярным. Наиболее приемлемым и правомерным здесь является статистическое описание функции $\Phi(\vec{r})$.

В качестве примера в [5] рассмотрены совокупности значений прочности пород на одноосное сжатие R_c и модуля упругости E в некоторой области массива, полученные из испытаний кернов разведочных скважин. Зависимости $E_i(x)$ (рис. 1), (ось x совпадает с продольной осью скважины) построенные для различных скважин, но относящихся к одной пачке пород, можно рассматривать как отдельные реализации случайной пространственной функции $E(x)$.

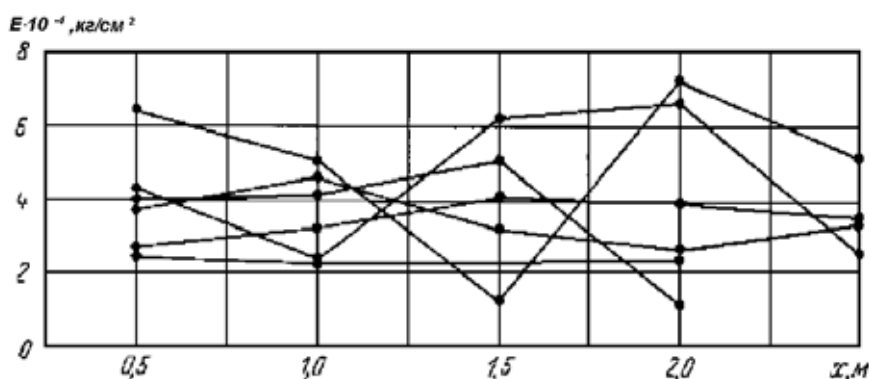


Рис. 1. Графики изменения модуля упругости E вдоль скважин

Характеристики этой функции, в частности математическое ожидание и корреляционная функция, дают простую и удобную пространственную модель неоднородности породного массива.

Конечно, получение представительного набора реализаций случайной функции $\Phi(\vec{r})$ требует густой сети точек опробования. При определенных условиях, в частности для слоистых осадочных пород в пределах одного слоя, случайную функцию $\Phi(\vec{r})$ можно считать стационарной и эргодической. Тогда ее вероятностные характеристики правомерно определять по единственной данной реализации. Для моделирования случайного характера исходных данных в геомеханических расчетах существенным является установление общих тенденций, проявляющихся в законах распределения количественного признака. Рассматривая n реализаций случайной функции $\Phi(\vec{r})$ в фиксированном сечении $\xi = \xi_i$ получим n значений этой функции: $\Phi_1(\xi_i), \Phi_2(\xi_i), \dots, \Phi_n(\xi_i)$, которые представляют собой значения случайной величины $\Phi(\xi_i)$, которая характеризуется математическим ожиданием $m(\xi_i)$, дисперсией $D(\xi_i)$ и подчиняется тому или иному закону распределения. Если этот закон установлен, т.е. известна плотность распределения $f(\Phi/\xi_i)$ и интегральная функция $F(\Phi/\xi_i)$, то можно при решении геомеханических задач моделировать случайные значения

количественного признака в соответствии с законом распределения его вероятностей в диапазоне изменений, ограниченном дисперсией.

Процедура получения случайных чисел, равномерно распределенных в интервале (0,1) довольно проста. Используется алгоритм Д. Дэвиса, подробно описанный в [6]. Там же приведена процедура получения нормально распределенной величины. Случайные числа, распределенные по законам, отличным от равномерного и нормального, можно получить на основе известных соотношений между генерируемыми величинами и величинами, имеющими нормальное или равномерное распределение.

Например, обработка результатов испытаний образцов ряда углевмещающих пород Донбасса на одноосное сжатие [7] показала, что большинство полученных данных не противоречит гипотезе о логарифмически нормальном законе распределения предела прочности на сжатие. Если величина R имеет логарифмически нормальное распределение с параметрами μ и σ , то величина $y = \ln R$ распределена нормально с математическим ожиданием μ и среднеквадратическим отклонением σ . Тогда случайная величина R может быть получена по формуле [8]:

$$R = \sigma y_N + \mu, \quad (1)$$

где y_N - нормированная нормальная величина с параметрами $\mu = 0, \sigma = 1$, получаемая с помощью датчика Дэвиса. Подобным образом, а также на основе метода инверсии, описанного в [8] можно получить случайные числа распределенные по другим законам.

Генерирование случайных значений количественного признака легко осуществить в рамках метода конечных элементов, алгоритм которого позволяет присвоить практически каждому элементу дискретизации области собственное значение того или иного свойства среды.

Таким образом, в расчетах можно отразить изменчивость исходных данных, свойственную неоднородной породной среде, и получить в результате численного моделирования целый спектр возможных геомеханических состояний исследуемого объекта, каждое из которых реализуется с той иной вероятностью. Достоверность результатов будет зависеть от представительности статистической информации и правильности ее интерпретации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рац М.В. Неоднородность горных пород и их физических свойств. – М.: «Наука», 1968, – 106 с.
2. Глушко В.Т., Ямщиков В.С., Яланский А.А. Геофизический контроль в шахтах и тоннелях. – М.: Недра, 1987, – 304 с.
3. Алексеев А.Д., Недодаев Н.В. Предельное состояние горных пород. - Киев: «Наукова Думка», 1982.- 196 с.
4. Баклашов И.В., Картозия Б.А. Механические процессы в породных массивах. – М.: Недра, 1986. – 272 с.
5. Шейнин В.И., Руппенейт К.В. Некоторые статистические задачи расчета подземных сооружений. - М.: Недра, 1969. - 152 с.
6. Шапарь А.Г., Эрперт А.М., Рипп Л.М., Лашко В.Т. Оптимизация параметров транспортно-перегрузочных комплексов на карьерах. – М.: Недра, 1988. – 207 с.
7. Шашенко А.Н., Тулуб С.Б., Сдвижкова Е.А. Некоторые задачи статистической геомеханики. – Киев: Університетське видавництво «Пульсар», 2002, – 302 с.
8. Хан Г., Шапиро С. Статистические модели в инженерных задачах. - М.: Мир, 1969. - 388 с.