

**ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ РАДИАЦИОННОЙ
ДЕФЕКТΟΣКОПИИ ТЕЛ С НЕОДНОРОДНОЙ СТРУКТУРОЙ**

В. К. КИВРАН, И. Э. НААЦ, Г. Н. ПАРВАТОВ, В. И. СЕСЬ

(Представлена научным семинаром сектора дефектоскопии строительных
материалов НИИ ЭИ)

Задачи радиационной дефектоскопии изделий с неоднородной структурой типа бетона отличаются некоторым своеобразием, вызванным неоднородностью потока за такими телами [1]. Для теоретического исследования вопросов, связанных с изучением влияния неоднородности структуры на те или иные факторы радиационной дефектоскопии, возникает необходимость в математическом моделировании таких структур применительно к расчетам на цифровых вычислительных машинах (ЦВМ). В настоящей работе рассматриваются вопросы создания таких моделей на примере структуры типа бетона.

Структура бетона с точки зрения распределения крупного заполнителя может быть представлена моделью случайного заполнения пространства системой выпуклых тел, имеющих случайные размеры, форму, ориентацию. Учитывая, что в бетоне с гравийным заполнителем частицы имеют более или менее окатанную поверхность, в модели такой структуры упаковке крупного заполнителя сопоставим упаковку сфер с соответствующим распределением по размерам.

Вообще говоря, все существующие типы упаковок по плотности заполнения можно условно разбить на три группы: а) редкозаполненные, с малой плотностью заполнения, фактически не имеющие точек касания элементов; б) плотные и в) плотнейшие с предельной плотностью заполнения. Такое деление упаковок является условным, тем более, что при изменении плотности эти упаковки трансформируются одна в другую с рядом промежуточных состояний.

Плотнейшие упаковки вообще не являются случайными и с точки зрения моделирования не представляют интереса. Редкие и плотные же упаковки являются, как правило, случайными и могут моделироваться методами Монте-Карло.

При моделировании случайных упаковок сфер требуется хранение в памяти ЦВМ размеров и координат сфер. Если учесть, что обычно у ЦВМ типа М-20, БЭСМ и т. п. оперативная память составляет 4095 ячеек и часть их должна быть отведена для программы упаковки и расчета необходимых параметров, то очевидно, что в оперативной памяти можно хранить ограниченное количество упакованных сфер, в пределах тысячи. Использование же при этом внешней памяти нецелесообразно ввиду резкого возрастания затрат машинного времени. Однако такое количество сфер вполне достаточно для изучения тех или иных зависимостей.

Вторым существенным моментом цифрового моделирования упаковки является последовательность пакования, то есть при паковании очередной сферы положение уже упакованных сфер принимается фиксированным. Применение же итерационных методов для уточнения положения предыдущих сфер в настоящее время является более сложной задачей ввиду резкого возрастания затрат машинного времени.

В модели редко заполненной упаровки координаты центров каждой очередной пакуемой сферы разыгрываются с помощью специальных программ псевдослучайных чисел с равномерным законом распределения [2]. При этом очередная пакуемая сфера проверяется на возможность ее пересечения ранее упакованными сферами и гранями, ограничивающими пространство упаковки. Если этих пересечений нет, сфера считается упакованной, если имеется хотя бы одно пересечение, чего не должно быть в реальных упаковках, все три координаты сферы разыгрываются вновь.

По программам, составленным для реализации этого алгоритма, можно строить модели упаковок с плотностью заполнения до 0,25 для равных сфер, на каждые 1000 сфер затрачивается при этом не более двух минут машинного времени ЦВМ типа М-20. Максимальная плотность заполнения (при отказе алгоритма) достигает 0,3 при затратах машинного времени до 8 минут.

Для построения модели плотных упаковок нами разработаны три алгоритма.

Один из них основан на том, что вблизи разыгранных двух координат центра каждой очередной пакуемой сферы с помощью вышеупомянутых программ псевдослучайных чисел отыскивается такое положение сферы, чтобы центр ее имел минимальное значение третьей координаты, не пересекая при этом ранее упакованных сфер. Это положение сферы отыскивается путем последовательного производства пробных шагов центра сферы в плоскости осей разыгрываемых координат, причем центр сферы в этой плоскости перемещается на величину пробного шага параллельно этим осям координат.

Плотность заполнения такой упаковки составляет для равных сфер 0,45, при этом на каждые 800—900 сфер затрачивается около 35—40 минут машинного времени ЦВМ типа М-20.

Второй алгоритм, отличающийся от первого тем, что пробные шаги производятся в сторону наискорейшего спуска, позволяет получить упаковки с плотностью заполнения для равных сфер 0,55, при этом затраты машинного времени составляют 50—55 минут на каждые 900—1000 сфер.

По третьему алгоритму производится точный расчет координат пакуемой сферы при паковании ее в углубление случайно выбранных трех ранее упакованных сфер. При помощи этого алгоритма плотность заполнения для равных сфер достигает 0,60, при этом затраты машинного времени составляют 40—45 минут на 600 упакованных сфер.

Для сравнения разработанных математических моделей упаковок сфер по плотности заполнения были проведены экспериментальные исследования физических моделей структуры — упаковок шаров. Плотность заполнения упаковок равных шаров без предварительного уплотнения достигала 0,62—0,63, в то же время плотность заполнения гравийной смеси одной фракции составляла 0,64—0,67. Таким образом, разработанные алгоритмы моделирования структуры позволяют получить математические модели структуры с плотностью, достаточно близкой к плотности реальных структур.

Достаточно хорошее соответствие моделей структуры реальным структурам имеется и в определении среднего числа касаний каждой

частицы в структуре. Так, среднее число касаний в модели с плотностью заполнения 0,45 составляет 4,6, а с плотностью заполнения 0,60 соответственно 7,9. В упаковке равных шаров это число в пределах плотности заполнения 0,6—0,7 составляет 6,3—7,9 [3]. Среднее число касаний на одну частицу в гравийной смеси, определенное нами в бетоне с заполнителем одной фракции, составляет 7,6—7,9.

Хорошее соответствие по основным характеристикам разработанных цифровых моделей структуры зернистых неоднородных структур их реальным отображениям позволит произвести необходимые расчеты по выявляемости дефектов в телах с такой структурой радиационными методами достаточно полно и с хорошим соответствием опытным данным. С помощью этих моделей можно рассчитывать теневое изображение, чувствительность радиационных методов, а также изучать различные структурные свойства.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Воробьев. Радиационная дефектоскопия строительных материалов и конструкций с помощью тормозного излучения. Дефектоскопия, 5 (1965), 33.
 2. Д. И. Голенко. Моделирование и статистический анализ псевдослучайных чисел на электронных вычислительных машинах. М., «Наука», 1965.
 3. G. D. Scott. Packing of Spheres. J. Nature, 188 (1960).
-