

УДК 539.3

П.С.Гончаров (5 курс, каф. МПУ), И.Б.Войнов, асс., А.И.Боровков, к.т.н., проф.

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНАЯ ГОМОГЕНИЗАЦИЯ УПРУГИХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ СО СФЕРИЧЕСКИМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ

Исследована зависимость эффективных упругих характеристик композитов со сферическими включениями от объемной концентрации включений в различных упаковках.

В качестве моделей выбраны ячейки периодичности композитов с тремя различными вариантами упаковки включений в матрице: кубической, центрированной кубической и гранцентрированной кубической, соответственно (рис. 1).

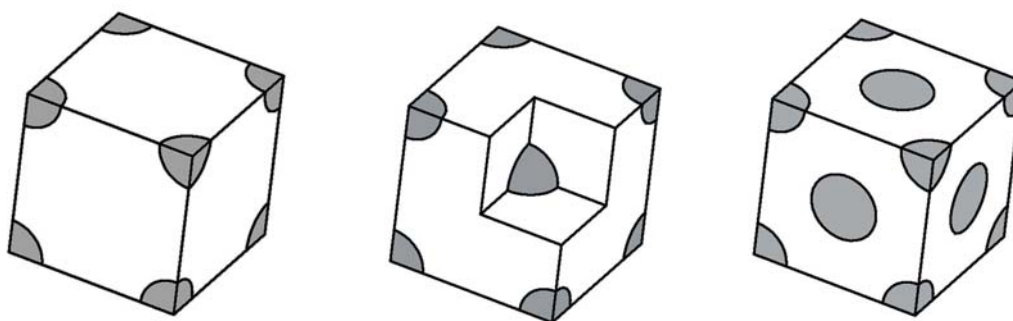


Рис. 1.

В ходе решения применены метод прямой гомогенизации композитных структур [1], метод конечных элементов и программная система конечно-элементного анализа ANSYS.

Основными геометрическими параметрами моделей являются: l – длина ребер кубической ячейки, r – радиус сферических включений, которые могут быть выбраны произвольно исходя из условия $l \geq 2r$. Подобная произвольность объясняется тем, что в качестве варьируемой величины удобно рассматривать не конкретные геометрические размеры ячейки периодичности и включений, а такую интегральную величину как концентрацию включений в матрице.

Упругие свойства компонентов гранулированного композита (стеклянные микросферы в связующем) приведены в табл. 1.

Таблица 1.

| | Материал компонентов | E , кгс/см ² | ν | G , кгс/см ² |
|-----------|----------------------------|------------------------------|-------|------------------------------|
| Включения | Стекло | $7.400 \cdot 10^5$ | 0.200 | 3.083 |
| Связующее | Эпоксидно-малеиновая смола | $0.315 \cdot 10^5$ | 0.382 | 0.114 |

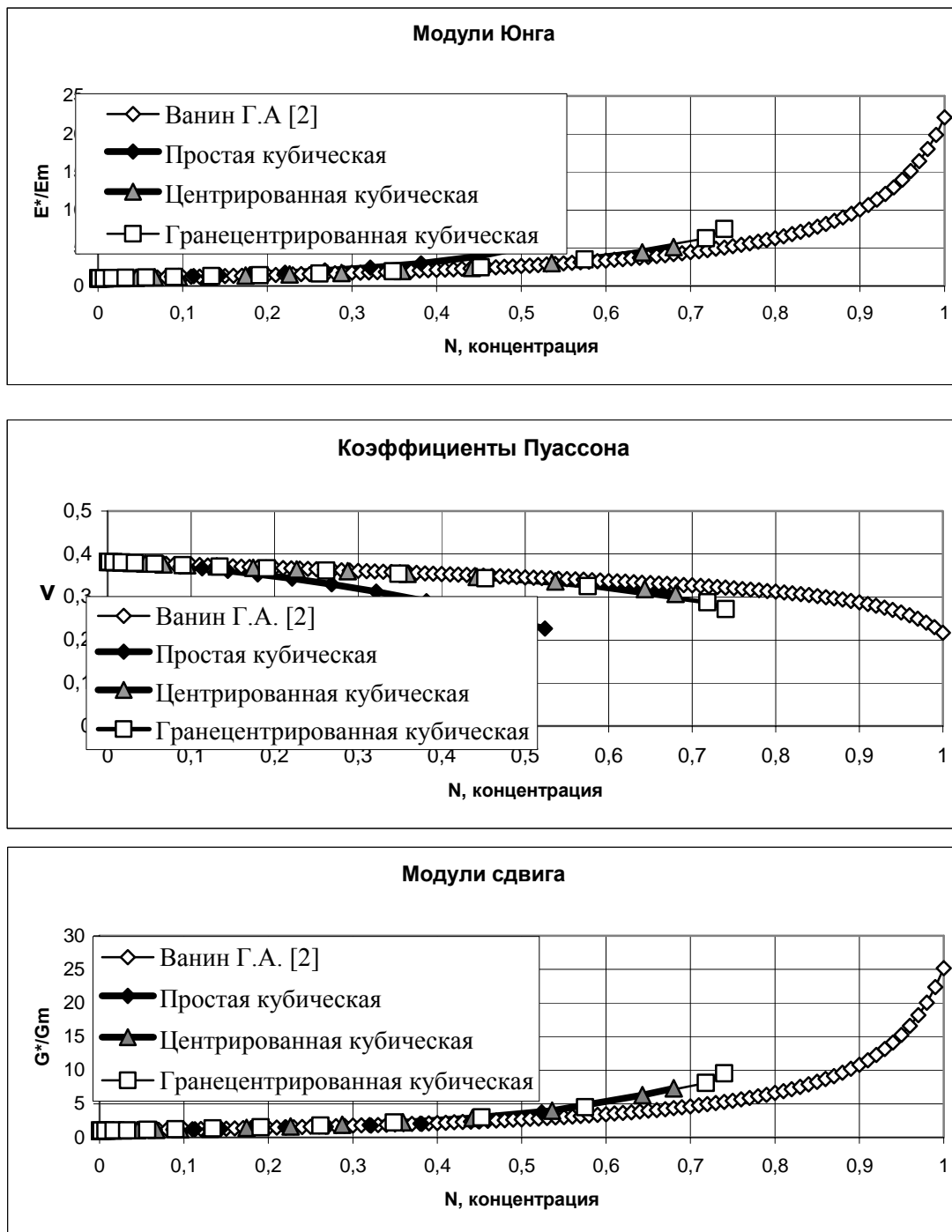


Рис. 2.

На рис. 2 представлены зависимости вычисленных эффективных модулей от объемной концентрации включений, а также приведены аналитические оценки, полученные методом последовательной регуляризации [2]. Отметим невысокую точность результатов, полученных методом последовательной регуляризации при высокой ($> 40\%$) концентрации включений в матрице, что и отмечал в работе [2] автор метода.

С помощью метода прямой гомогенизации выполнены исследования чувствительности эффективных упругих характеристик гранулированного композита к объемной концентрации включений для трех типов упаковок: кубической, центрированной кубической и гранецентрированной кубической. Выполнен сравнительный анализ результатов с

аналитическими оценками, полученными методом последовательной регуляризации [2]. С помощью метода прямой гомогенизации [1] уточнены области применимости формул метода последовательной регуляризации для определения эффективных упругих характеристик гранулированных композитов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Боровков А.И. Эффективные физико-механические свойства волокнистых композитов. – М.: Изд-во ВИНТИ, 1985.
2. Ванин Г.А. Микромеханика композиционных материалов. – Киев: Наукова думка, 1985.