

УДК 539.3

Д.Алеман-Меза (асп., каф. МПУ), А.А.Михайлов, асс., А.И.Боровков, к.т.н., проф.

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОНАПРАВЛЕННЫХ ВОЛОКНИСТЫХ КОМПОЗИТОВ. 2. СРАВНЕНИЕ ТРЁХ ВАРИАНТОВ ПОСТАНОВКИ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ

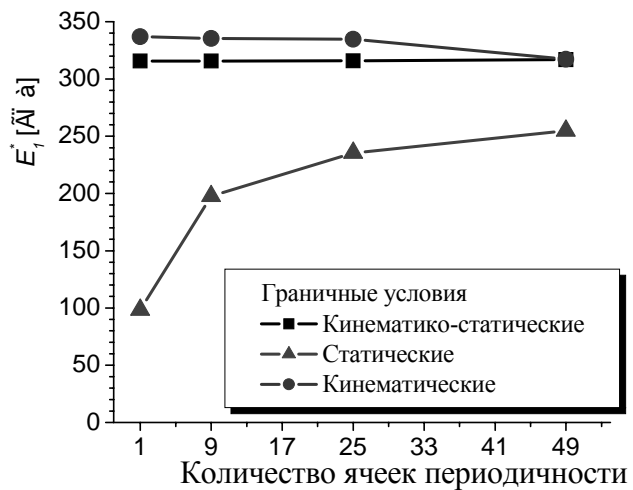
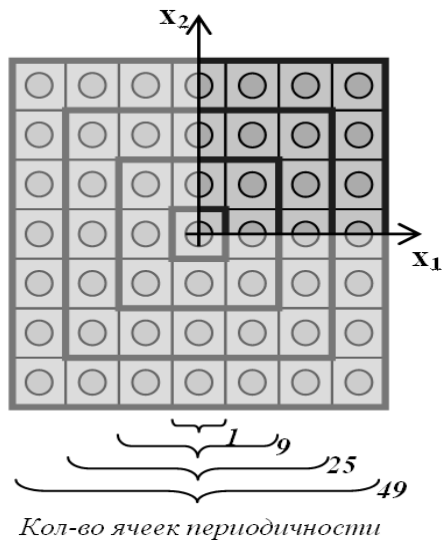
В работе выполнено многовариантное исследование влияния объёмной концентрации и относительной жесткости волокон на эффективные упругие характеристики однонаправленных волокнистых композитов с двоякопериодической структурой.

Для вычисления эффективных упругих характеристик рассмотрены три варианта постановки граничных условий на поверхности ячейки периодичности: кинематические Хашина – Розена, статические Хашина – Розена (см., например, [1, 2]) и кинематико-статические граничные условия, впервые предложенные в работе [3] и составляющие основу методу прямой гомогенизации. Необходимо отметить, что граничные условия Хашина – Розена, вообще говоря, предложены для вычисления эффективных характеристик хаотически армированных однонаправленных волокнистых композитов на основе концепции представительного элемента объёма [1, 2].

Представляет значительный практический интерес сравнительный анализ сходимости эффективных характеристик в зависимости от числа используемых в представительном элементе объёма ячеек периодичности. Ясно, что кинематико-статические граничные условия позволяют вычислить “точные” значения эффективных характеристик, используя только одну ячейку периодичности. Принципиально важно отметить, что ранее было установлено, что эти “точные” характеристики совпадают с эффективными характеристиками, вычисленными на основе метода асимптотического осреднения Бахвалова – Победри [1, 4, 5].

Сравним значения эффективного модуля Юнга E^*_1 , вычисленные на основе 3-х формулировок граничных условий для представительного элемента объёма, содержащего различное число ячеек периодичности при постоянной объёмной концентрации волокон – $v^f = 0.5$ (рис. 1).

Решение задач и обработка результатов выполнены в программной системе конечно-элементного анализа *ANSYS*. В силу симметрии задачи рассмотрена $\frac{1}{4}$ часть представительного элемента объёма, приведенного на рис. 1.



В результате проведенных исследований установлено, что эффективные упругие характеристики, вычисленные с применением кинематических и статических граничных условий Хашина – Розена, зависят от количества ячеек периодичности, причем для $E_f/E_m > 1$ практическая сходимость тем медленнее, чем меньше объемная концентрация волокон и, наоборот, для $E_f/E_m < 1$.

Результаты, полученные с помощью кинематических и статических граничных условий Хашина – Розена, с увеличением числа ячеек в представительном элементе объема приближаются, соответственно, “сверху” и “снизу” к результатам, полученным на основе кинематико-статических граничных условий (рис. 2, 3). При этом, чем больше относительная жесткость композита (E_f/E_m) и чем больше объемная концентрация волокон v_f , тем большее количество ячеек периодичности необходимо включить в представительный элемент объема для обеспечения сходимости эффективных упругих характеристик (рис. 3).

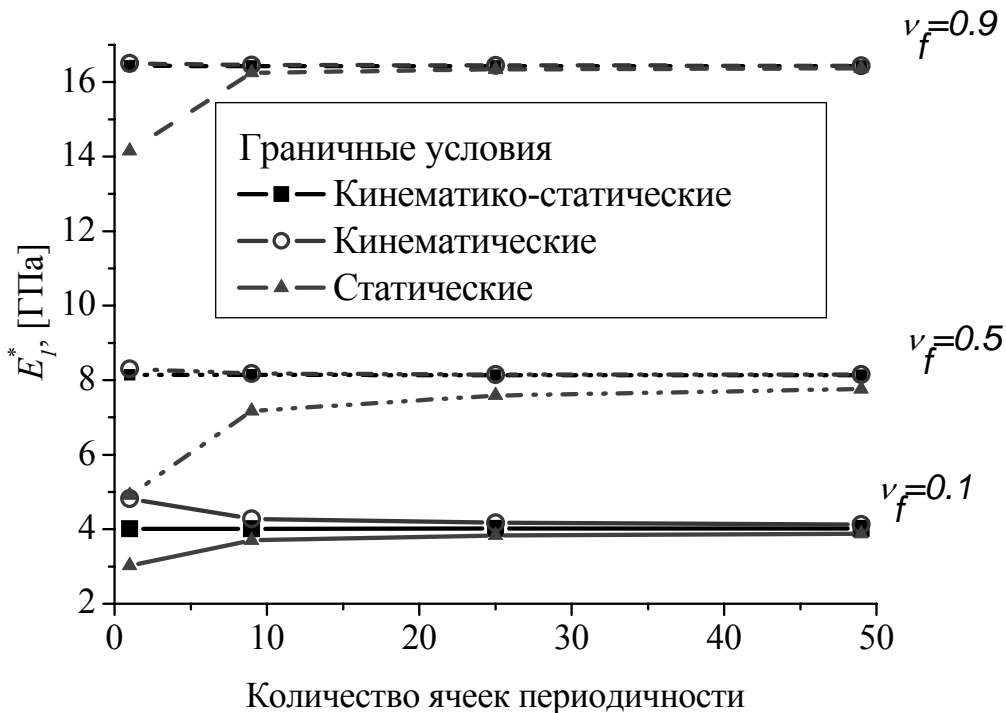


Рис. 3.

Отметим, что результаты, полученные на основе статических граничных условий Хашина – Розена, медленнее приближаются к результатам, полученным с помощью кинематико-статических граничных, чем в случае использования кинематических граничных условий Хашина – Розена (рис. 3).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Победря Б.Е. Механика композиционных материалов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984.
2. Кристенсен Р. Введение в механику композитов. – М.: Мир, 1982.
3. Боровков А.И. Эффективные физико-механические свойства волокнистых композитов – М.: Изд-во ВИНТИ. 1985. 113 с.
4. Бахвалов Н.С., Панасенко Г.П. Осреднение процессов в периодических средах. Математические задачи механики композиционных материалов. – М.: Наука. 1984.
5. Borovkov A.I., Klich A.E. Computational Micromechanics of Composites. Finite Element Homogenization Methods // Appl. Math. Mech. (Z. Angew. Math. Mech. – ZAMM). V.78. Suppl. 1. 1998. S295-S296.

