

## СТАТИСТИКА ЛОКАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ В КОМПЗИТЕ С ТЕПЛОПРОВОДЯЩИМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

*Студ. Крук М. А., гр. ПГС-234, студ. Гайошко Е. В., гр. ПСК-363*

*Научные руководители: к.т.н., доц. Максименко Я.А., к.ф.-м.н., доц. Заливайло И.В.  
Одесская государственная академия строительства и архитектуры*

Для описания теплопроводящих свойства композитных материалов (КМ) рядом авторов разрабатывается подход, основанный на анализе протекания локальных тепловых потоков (ЛТП), см, например, [1-3]. В частности, в работе [3] описаны результаты численного моделирования ЛТП в КМ с теплоизолирующими включениями (эти КМ часто используются как теплоизолирующие материалы). В матрице такого КМ формируются характерные области с существенно различными плотностями ЛТП. Статистическое распределение плотности ЛТП в этом случае имеет сложный вид, оно образуется в результате наложения нескольких логарифмически-нормальных мод, связанных с ЛТП в различных характерных областях КМ.

В настоящее время также получили широкое распространение КМ, усиленные металлическими стержнями и/или нитями. Теплопроводность последних гораздо выше теплопроводности матрицы. В таких материалах естественно ожидать иную структуру статистического распределения плотности ЛТП, отличную от структуры, присущей КМ с теплоизолирующими включениями.

Цель данной работы – получить в результате численного эксперимента статистические распределения плотности ЛТП в КМ с теплопроводящими включениями (ТПВ) и сравнить полученные результаты со случаем теплоизолирующих включений (ТИВ).

В ходе численного эксперимента моделировался двумерный КМ со случайно расположенными включениями. Соотношение теплопроводности матрицы и наполнителя соответствовало в случае ТПВ соотношению теплопроводностей цементно-песочного камня и арматурной стали, а в случае ТИВ соотношению теплопроводностей цементно-песочного камня и пенополистирола. В моделях также задавались различные объемные концентрации наполнителя  $c$ , размеры включений  $b$  и минимально допустимые дистанции  $d$  между ними. Для каждой модели КМ конечно-разностным методом решалось стационарное уравнение теплопроводности Фурье с граничными условиями первого рода. На основании полученного решения вычислялись ЛТП. Моделирование и расчеты выполнялись с помощью программного комплекса, разработанного в лаборатории математического моделирования кафедры физики ОГАСА. Нашей задачей являлось построение и анализ статистических распределений ЛТП и карт их направлений.

На рис. 1 показаны карты плотности и направлений ЛТП во фрагменте одной и той же модели КМ с ТИВ и ТПВ с параметрами размещения включений:  $c = 0,244$ ;  $b = 0,078$ ;  $d = 0,2$ . Значения величин  $c$ ,  $b$  и  $d$  указаны в безразмерном виде:  $c$  – как доля объема включений в общем объеме КМ,  $b$  – как доля размера счетной области,  $d$  – как доля размера включения. Плотность ЛТП на карте обратно пропорциональна степени зачернения. Стрелками показаны направления ЛТП. Цвет стрелок выбирался из соображения контраста: в зачерненных областях (малые плотности ЛТП) стрелки белые, в светлых (большие плотности ЛТП) стрелки черные.

Сравнение двух карт показывает существенные изменения в характере протекания ЛТП при изменении соотношения теплопроводности матрицы и наполнителя. В случае ТИВ области пониженной плотности ЛТП (темная матрица) формируются во фронтальных и тыловых частях включений, а в случае ТПВ – вблизи верхних и нижних границ включения.

На рис. 2 показаны статистические распределения плотности ЛТП для случаев ТИВ и ТПВ в КМ с одинаковыми параметрами размещения включений. Данные распределения

построены по 800 моделям КМ каждого. Также показаны разложения этих распределений на отдельные лог-нормальные моды, выполненные с помощью программы *Seasolve PeakFit*. В случае ТПВ моду темной матрицы не удается удовлетворительно аппроксимировать логнормальным законом – на рис. 2 справа показана только область нахождения этой моды.

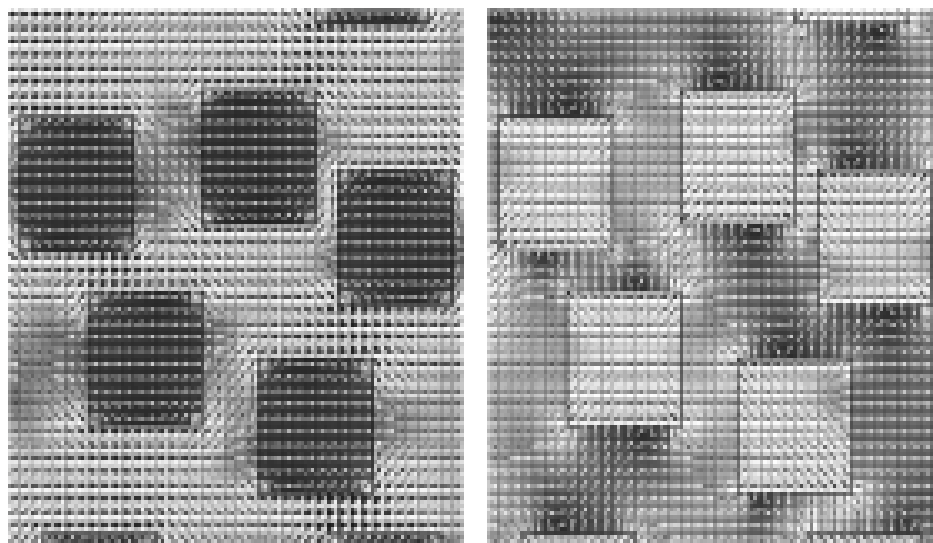


Рис. 1. Фрагменты карт плотности и направлений ЛТП: слева – модель КМ с ТИВ, справа – эта же модель КМ с ТПВ. Перепад температур приложен слева направо.

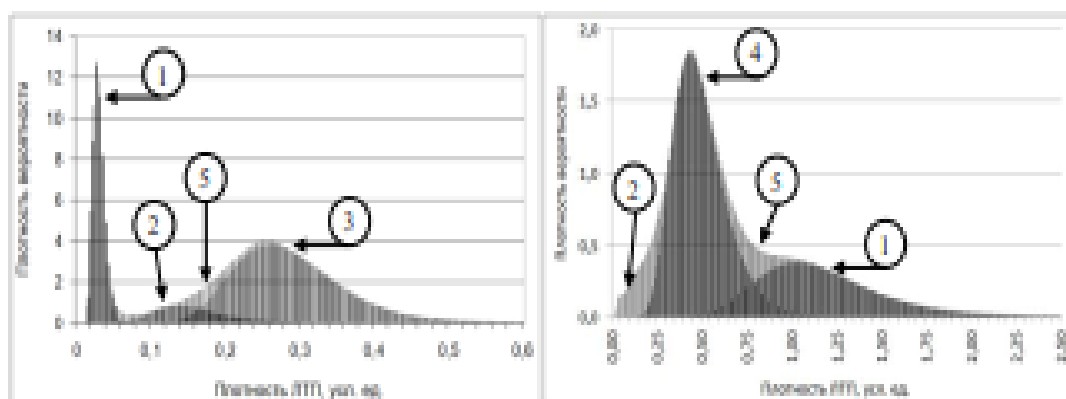


Рис. 2. Статистические распределения плотности ЛТП в КМ с ТИВ (справа) и ТПВ (слева): 1 – моды включений, 2 – моды темной матрицы, 3 – мода индуцированных теплопроводящих каналов, 4 – мода невозмущенной матрицы, 5 – огибающая суммы мод.

Полученные результаты указывают на то, что поведение средневзвешенного угла (СВУ) отклонения ЛТП от направления перепада температур в случаях ТИВ и ТПВ должно быть различным, и его требуется изучить на следующем этапе исследований.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Arun Manohar, Francesco Lanza di Scalea. Modeling 3D heat flow interaction with defects in composite materials for infrared thermography // *NDT&E International*. – 2014. – Vol. 66, pp. 1 – 7.
2. D. Kapanadze, G. Mishuris and E. Pesetskaya. Improved algorithm for analytical solution of the heat conduction problem in doubly periodic 2D composite materials // *Complex Variables and Elliptic Equations*. – 2015. – Vol. 60, No. 1, pp. 1 – 23.
3. Максименюк Я.А., Загнайло И.В., Щеткина А.С., Колаченко К.А. Компьютерное моделирование плотности локальных тепловых потоков в двухкомпонентных композитах. // *Вісник ОДАБА*, вип. 72, – Одесса, 2018, с. 107 – 116.