

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТАТИСТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ В ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ КОМПОЗИТАХ НА ИХ ЭФФЕКТИВНУЮ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ

*Студ. Козаченко К. А., студ. Шесткина А. С. – гр. ПГС-253, студ. Крук М. А., гр. ПГС-254
Научный руководитель: к.ф.-м.н., доц. Залмайло И.В.
Одесская государственная академия строительства и архитектуры*

В работах [1, 2] было показано, что при теплопереносе в двухкомпонентном композитном материале (ДКМ) формируется несколько (от трех до пяти) характерных областей с различными режимами протекания локальных тепловых потоков (ЛТП). Это проявляется многомодовым статистическим распределением плотности ЛТП. Там же высказывалось предположение, что параметры мод статистического распределения плотности ЛТП должны влиять на величину эффективной теплопроводности ДКМ.

Цель настоящей работы – проверка данного предположения путем анализа корреляций между параметрами мод статистического распределения плотности ЛТП и эффективной теплопроводностью ДКМ, полученными в результате математического моделирования.

Нами анализировались результаты численного моделирования ЛТП в моделях ДКМ с равномерно распределенными случайным образом теплоизолирующими включениями одинакового размера. Отношение размера включений к размеру моделируемой области составляло $b = 0,039$. Отношение минимальной дистанции между включениями к их размеру составляло $d = 0,4$. Концентрация включений в ДКМ равнялась $c = 0,29$. Было проанализировано 800 реализаций указанной модели ДКМ.

ДКМ с указанными величинами b , d и c обладают трехмодовым распределением плотности ЛТП. На рис. 1 показано распределение плотности ЛТП во всей совокупности реализаций модели ДКМ. Мода «В» ассоциируется с ЛТП, идущими непосредственно через теплоизолирующие включения, мода «Т» ассоциируется с «темной матрицей», а мода «К» – с индуцированными теплопроводящими каналами [1, 2]. На рис. 1 также показано, как перекрывающиеся моды «Т» и «К» разделяются на логарифмически-нормальные составляющие. Разделение мод выполнено в программе *Seasolve PeakFit*.

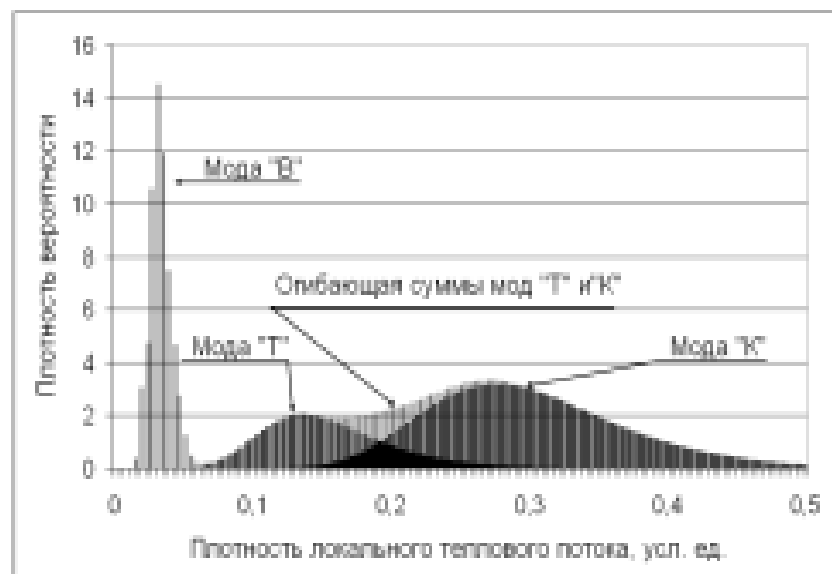


Рис. 1. Трехмодовое распределение плотности ЛТП в ДКМ и его разделение на отдельные составляющие.

Для выполнения корреляционного анализа аналогичное разделение мод в распределении плотности ЛТП выполнялось для каждой из 800 реализаций модели ДКМ. На рис. 2 приведены два примера распределений плотности ЛТП для отдельных реализаций.

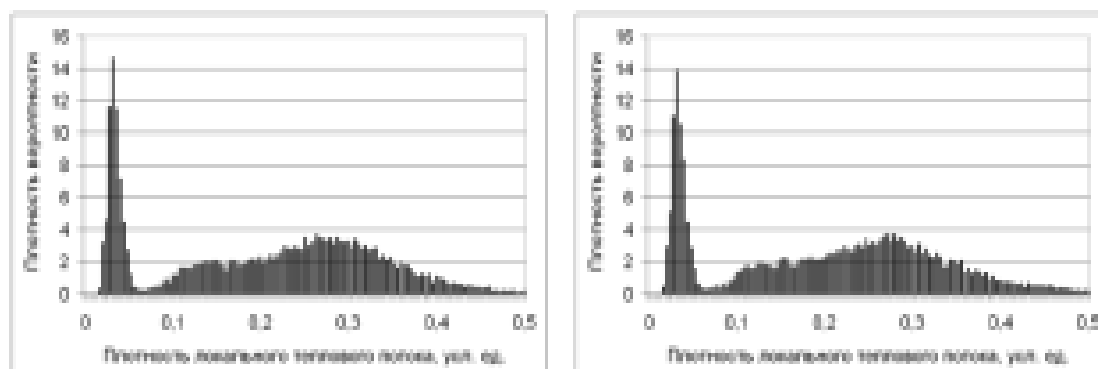


Рис. 2. Распределения плотности ЛТП в отдельных реализациях модели ДКМ.

Для аппроксимации мод распределения плотности ЛТП использовалось репараметризованное лог-нормальное распределение, плотность которого выражается уравнением

$$y(x) = A \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - \ln M}{\sigma} \right)^2 \right], \quad (1)$$

где A – амплитуда пика, M – положение моды, а параметр σ характеризует ширину и асимметрию пика распределения. Параметры A , M и σ подбирались с помощью программы *Seasolve PeakFit*. Кроме того, вычислялась площадь S под кривой распределения каждой моды в долях от полной площади под кривой распределения плотности ЛТП. Далее, определялись коэффициенты парной корреляции Пирсона для каждого из параметров моды и относительной эффективной теплопроводности модели ДКМ:

$$r = \frac{\sum (p - \bar{p})(\lambda - \bar{\lambda})}{\sqrt{\sum (p - \bar{p})^2 \sum (\lambda - \bar{\lambda})^2}}, \quad (2)$$

где p – значение параметра моды (A , M , σ или S) в конкретной реализации, \bar{p} – среднее значение параметра моды во всей совокупности реализаций; λ – значение относительной эффективной теплопроводности в конкретной реализации, $\bar{\lambda}$ – среднее значение относительной эффективной теплопроводности во всей совокупности реализаций; суммирование производится по всем реализациям. При этом относительная теплопроводность определяется как отношение теплопроводности включений к теплопроводности матрицы, она является безразмерной величиной. Результаты вычисления коэффициентов парной корреляции Пирсона приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Значения коэффициента парной корреляции Пирсона между эффективной теплопроводностью ДКМ и параметрами мод распределения плотности ЛТП

	A	M	σ	S
Мода «В»	0,359	-0,781	-0,084	0,083
Мода «Г»	-0,165	0,007	0,115	0,043
Мода «К»	0,466	0,400	-0,602	-0,047

Как видно из таблицы, основная масса корреляций между эффективной теплопроводностью ДКМ и параметрами мод распределения плотности ЛТП могут быть

отнесены к слабым и очень слабым по шкале Чеддока. Ячейки таблицы, коэффициенты в которых описывают слабые корреляции, залиты серым цветом.

Между эффективной теплопроводностью ДКМ и величиной M_B (положением моды «В» распределения плотности ЛТП) регистрируется сильная антикорреляция. Таким образом, чем выше плотность ЛТП непосредственно во включениях, тем меньший общий тепловой поток проходит через композитный материал. На первый взгляд это кажется парадоксальным. Однако вспомним, что мода «Т» формируется теплоизолирующими включениями. Увеличение плотности ЛТП через теплоизолирующие включения может происходить от того, что при данном размещении включений прохождение ЛТП через теплопроводящую матрицу затруднено. Т.е. причиной является размещение включений, затрудняющее прохождение ЛТП, а уменьшение эффективной теплопроводности и увеличение плотности ЛТП во включениях – два ее следствия.

Также необходимо отметить приближающуюся к сильной антикорреляцию между эффективной теплопроводностью и параметром σ моды «К». Данный параметр описывает ширину и асимметрию пика распределения. Наблюдаемая антикорреляция означает, что чем более однородны условия для протекания ЛТП в индуцированных теплопроводящих каналах, тем выше теплопроводность КМ.

На рис. 3 – 4 показаны корреляционные поля рассеяния пар $\lambda - M_B$ и $\lambda - \sigma_K$.

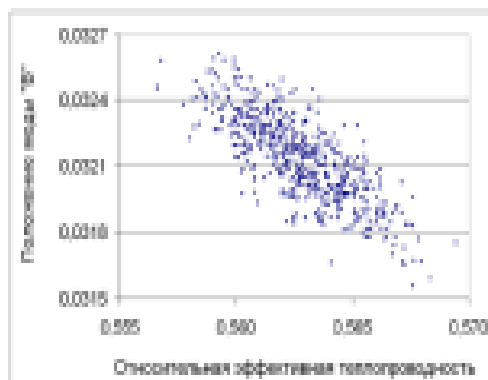


Рис.3. Корреляционное поле рассеяния пары относительная эффективная теплопроводность – положение моды «В».

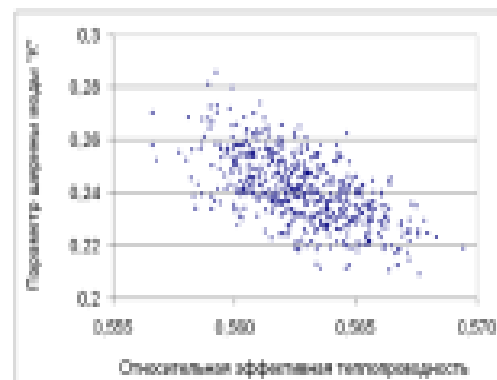


Рис.4. Корреляционное поле рассеяния пары относительная эффективная теплопроводность – ширина моды «К».

Ранее авторами [3] было показано, что эффективная теплопроводность в двухфазных композитах также коррелирует со средневзвешенным углом (СВУ) протекания ЛТП. Для дальнейших исследований представляет интерес совместный анализ корреляций между λ , σ_K и СВУ на более широкой базе реализаций ДКМ с различными параметрами размещения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Загинайло И.В., Писаренко А.Н., Брошеван А.А. Статистика локальных тепловых потоков в двумерных моделях двухфазных композиционных материалов // Строительство, материаловедение, машиностроение. Сб. науч. трудов ПГАСА. Вып. 100, Днепр, 2017, с. 81 – 89.
2. Максименюк Я.А., Загинайло И.В., Щеткина А.С., Коляченко К.А. Компьютерное моделирование плотности локальных тепловых потоков в двухкомпонентных композитах. // Вісник ОДАБА, вип. 72, – Одеса, 2018, с. 107 – 116.
3. Загинайло И.В., Писаренко А.Н., Максименюк Я.А. Угловые распределения локальных тепловых потоков и их корреляция с эффективной теплопроводностью в двухфазных композитах // Материалы международного научно-технического семинара «Моделирование и оптимизация строительных композитов», Одесса, 16-17 ноября 2017, с. 37 – 41.