

УДК 678+532.64+621.792

В. В. НЕФЕДОВ, Н. М. ЗАЙЧЕНКО

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ЗОЛЫ-УНОСА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Аннотация. В работе рассматривается структура полимерного композиционного материала, наполненного дисперсными частицами. Разрабатываемый материал включает в себя в качестве дисперсного наполнителя золу-уноса теплоэлектростанций, полимерной матрицы – вторичный полиэтилен-терефталат. Для построения пространственной модели композиционного материала и анализа распределения частиц в представительном элементе объема был использован модуль Digimat-FE, входящий в программный комплекс MSC Digimat. Изучен гранулометрический состав золы-уноса Зуевской тепловой электростанции в диапазоне 0,3...150 мкм, получено интегральное и дифференциальное распределение частиц. Исходя из результатов моделирования макроструктуры композиционного материала с заданным гранулометрическим составом наполнителя определена его максимальная объемная и массовая доля в сгенерированном представительном элементе объема.

Ключевые слова: композиционный материал, моделирование структуры, вторичный полиэтилен-терефталат, зола-уноса электростанций.

При проектировании полимерных композиционных материалов (КМ), наполненных дисперсными наполнителями, важную роль в понимании процессов структурообразования играет степень наполнения КМ. Для образования дисперсной структуры КМ полимерное связующее должно полностью смачивать частицы наполнителя, которые, в свою очередь, должны быть равномерно распределены в объеме КМ. При такой структуре в полимерной смеси при плотной упаковке дисперсных частиц происходит образование непрерывного пространственного каркаса, что позволяет достичь оптимальных прочностных свойств КМ [1]. Вследствие этого возникает необходимость оперировать данными о расположении частиц наполнителя в объеме композита. Для этого рационально построить трехмерную модель композиционного материала, опираясь на справочные и экспериментальные данные о свойствах материалов фаз. Современные программные комплексы позволяют создать пространственную модель композиционного материала, содержащего различные наполнители. Одним из таких решений является пакет программного обеспечения MSC Software Digimat. Digimat позволяет моделировать характеристики термопластичных и термореактивных пластмасс, а также композитных материалов с различной матрицей. Полученные характеристики материалов в дальнейшем могут быть переданы для выполнения расчетов в конечно-элементных пакетах [2, 3].

В качестве проектируемого материала выступает композит, включающий в себя дисперсный наполнитель золу-уноса теплоэлектростанций (ТЭС) и полимерную матрицу – вторичный полиэтилен-терефталат (ПЭТФ) [4].

Для построения пространственной модели (рис. 1) композиционного материала был использован модуль Digimat-FE, входящий в программный комплекс MSC Digimat. В Digimat-FE при моделировании структуры КМ используется конечно-элементный подход. Данный модуль предназначен для создания представительного элемента объема (ПЭО) армированного пластика. ПЭО – это минимальный объем материала, в котором содержится достаточное для статистического описания состояния тела число «носителей» – рассматриваемых механизмов процесса.

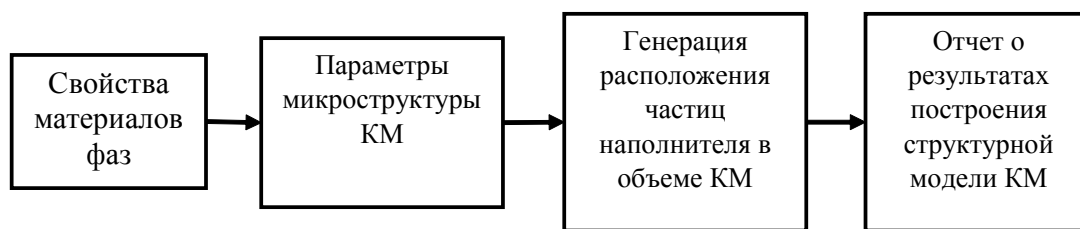


Рисунок 1 – Алгоритм построения пространственной модели КМ в MSC Digimat-FE.

Для изучения фракционного состава золы-уноса ТЭС использовался лазерный дифракционный анализатор размера частиц ANALYSETTE 22 Compact. Данный прибор имеет диапазон измеряемых размеров частиц от 0,3 до 300 мкм. Результаты анализа фракционного состава золы-уноса представлены в таблице и на рис. 2.

Таблица – Гранулометрический состав золы-уноса ТЭС

Размер частиц, мкм	Содержание фракции, %	Размер частиц, мкм	Содержание фракции, %
0,3–0,5	1,49	30–40	12,03
0,5–1	2,17	40–50	7,6
1–2	5,05	50–60	4,48
2–3	4,33	60–70	2,68
3–4	4,1	70–80	1,6
4–5	3,79	80–90	0,93
5–10	13,51	90–100	0,58
10–20	19,19	100–120	0,58
20–30	16,51	120–150	0,33

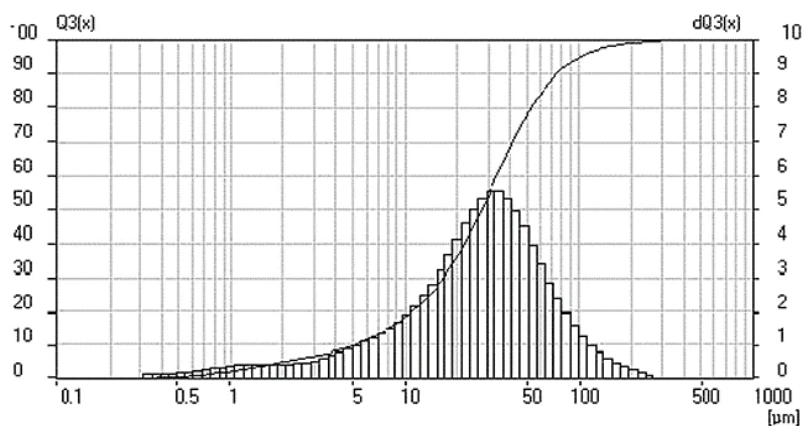


Рисунок 2 – Интегральное и дифференциальное распределение частиц золы-уноса по размерам.

Для расчета объемного содержания компонентов КМ в модуле Digimat-FE была определена истинная плотность золы-уноса и вторичного полиэтилентерефталата пикнометрическим методом, она составила 2,47 и 1,36 г/см³ соответственно.

При генерации макроструктуры КМ и определения максимальной степени наполнения ПЭО были приняты сферические частицы с установленным фракционным составом, т. к. известно, что зола-уноса состоит преимущественно из шарообразных стекловидных частиц [5]. Сгенерированная трехмерная модель представительного элемента объема КМ с размером 0,5×0,5×0,5 мм представлена на рис. 3.

В результате максимальная объемная доля наполнителя в сгенерированном ПЭО составила 34,46 %, а массовая доля – 48,84 %. Исходя из графика распределения размеров частиц в сгенерированном представительном элементе объема КМ (рис. 4) частицы с размером от 10 до 50 мкм занимают наибольший объем (74,9 %).

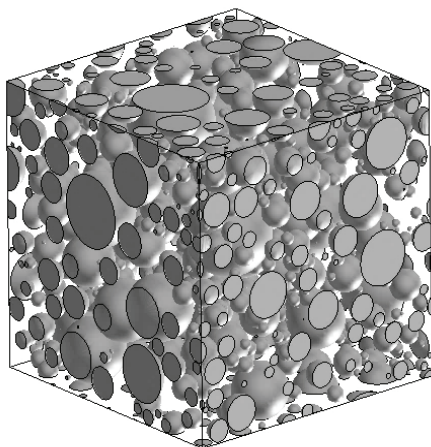


Рисунок 3 – Модель представительного элемента объема КМ с максимальной степенью заполнения.

Для изучения прочностных свойств, разрабатываемого КМ были изготовлены образцы методом термопрессования с установленной теоретически концентрацией дисперсного наполнителя (48,8 %). Предел прочности при сжатии образцов КМ был определен в соответствии с ASTM D695. Его среднее значение для серии из 10 образцов составило 50,2 МПа.

ВЫВОДЫ

Полученные результаты позволяют подтвердить рациональность использования дисперсной золы-уноса ТЭС в качестве наполнителя для разрабатываемого КМ. Выбранный наполнитель имеет гранулометрический состав, позволяющий создать плотноупакованную дисперсную структуру КМ. Полученная теоретически максимальная объемная доля наполнителя в сгенерированной модели позволит провести дальнейшую оптимизацию состава по физико-механическим характеристикам образцов КМ.

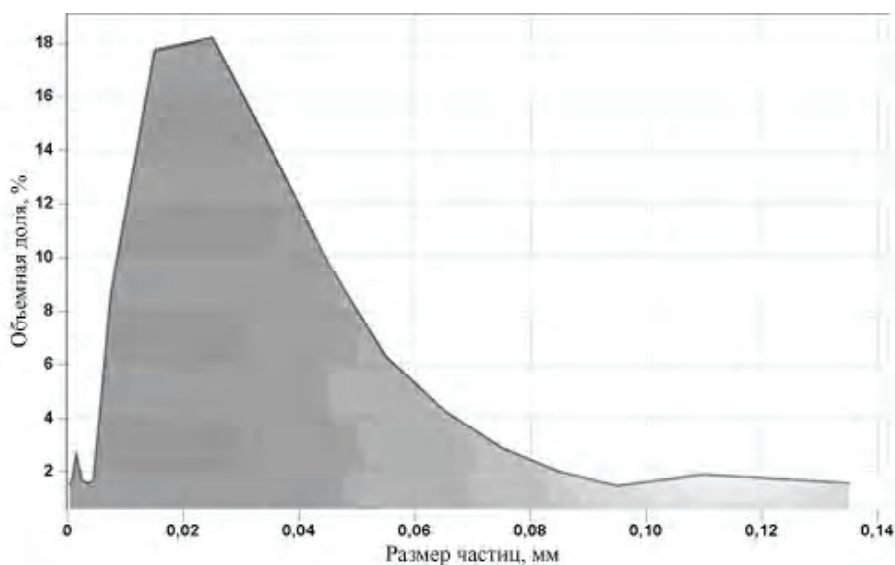


Рисунок 4 – График распределения размеров частиц в представительном элементе объема КМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кербер, М. Л. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология [Текст] : учеб. пособие / М. Л. Кербер, В. М. Виноградов, Г. С. Головкин и др. ; под ред. А. А. Берлина. – СПб. : Профессия, 2008. – 560 с.
2. Digimat – The Nonlinear Multi-scale Material and Structure Modeling Platform [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.mscsoftware.com/product/digimat>. – Официальная страница.
3. Digimat for engineering plastics [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://documents.mscsoftware.com/sites/default/files/digimat_for_engineering_plastics1.pdf. – Официальная страница.
4. Нефедов, В. В. Композиционный строительный материал на основе полимерных и золошлаковых отходов [Текст] / В. В. Нефедов // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2016. – Вып. 2016-3(119) Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий. – С. 99–103.
5. ГОСТ 25818-2017 Золо-уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия [Текст]. – Введ 2018-03-01 / Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона им. А. А. Гвоздева (НИИЖБ им. А. А. Гвоздева), АО «НИЦ "Строительство"», ООО «ПЦВ». – М. : Стандартинформ. – 2017. – 15 с.

Получено 06.04.2018

В. В. НЕФЕДОВ, М. М. ЗАЙЧЕНКО
МОДЕЛЮВАННЯ СТРУКТУРИ КОМПОЗИЦІЙНОГО ПОЛІМЕРНОГО
МАТЕРІАЛУ НА ОСНОВІ ЗОЛИ-ВИНЕСЕННЯ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ
ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У роботі розглядається структура полімерного композиційного матеріалу, наповненого дисперсними частинками. Розроблений матеріал включає в себе як дисперсного наповнювача золи-винесення теплоелектростанцій, полімерної матриці – вторинний поліетилентерефталат. Для побудови просторової моделі композиційного матеріалу й аналізу розподілу частинок в представницькому елементі об'єму було використано модуль Digimat-FE, що входить в програмний комплекс MSC Digimat. Вивчено гранулометричний склад золи-винесення Зуївської теплової електростанції в діапазоні 0,3...150 мкм, одержано інтегральний і диференціальний розподіл частинок. Виходячи з результатів моделювання макроструктури композиційного матеріалу із заданим гранулометричним складом наповнювача, визначена його максимальна об'ємна і масова частка у створеному представницькому елементі об'єму.

Ключові слова: композиційний матеріал, моделювання структури, вторинний поліетилентерефталат, зола-винесення електростанцій.

VLADISLAV NEFEDOV, MYKOLA ZAICHENKO
STRUCTURE MODELING OF COMPOSITE POLYMER MATERIAL BASED ON
FLY ASH OF POWER PLANTS
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The paper deals with the structure of polymeric composite material filled with dispersed particles. The developed material includes as a dispersed filler fly ash of thermal power plants, and as a polymer matrix – secondary polyethylene terephthalate. To build a spatial model of the composite material and analyze the particle distribution in a representative volume element, the Digimat-FE module was used, which is a part of the MSC Digimat software package. The granulometric composition of fly ash of Zuevskaya thermal power plant in the range of 0.3-150 mkm was studied, the integral and differential particle distribution was obtained. Based on the results of modeling the macrostructure of a composite material with a specified granulometric composition of the filler, its maximum volume and mass fraction in the generated representative volume element has been determined.

Key words: composite material, structure modeling, secondary polyethylene terephthalate, fly ash.

Нефедов Владислав Васильевич – ассистент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: полимерные композиционные материалы на основе промышленных и твердых бытовых отходов.

Зайченко Николай Михайлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: высокопрочные и особо высокопрочные бетоны на основе модифицированных дисперсных компонентов бетона.

Нефедов Владислав Васильович – асистент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: полімерні композиційні матеріали на основі промислових і твердих побутових відходів,

Зайченко Микола Михайлович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: високоміцні і особливо високоміцні бетоны на основі модифікованих дисперсних компонентів бетону.

Nefedov Vladislav – Assistant, Technology of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: polymer composite materials on the base of industrial and municipal solid waste.

Zaichenko Mykola – D. Sc. (Eng.), Professor; Head of the Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: high-strength and high-performance concretes based on modified fillers.