

**Зарипова Ирина Ильясовна**

ассистент, аспирант

**Новиков Дмитрий Алексеевич**

студент

ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-

дорожный государственный

технический университет (МАДИ)»

г. Москва

## **ТЕХНОЛОГИЯ ПОДБОРА СОСТАВА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА С ПРОГНОЗИРУЕМЫМИ СВОЙСТВАМИ**

***Аннотация:** в данной статье описана технология подбора состава композиционных материалов на основании моделирования концентрационного и гранулометрического состава по вероятностно-геометрической концепции. Моделирование структуры композиционных материалов осуществляется путем случайного заполнения заданного объема сферами разного радиуса и ориентацией в пространстве. Сферы, образующие решетчатую структуру, наделены определенным (основополагающим) свойством, например, – электропроводностью, в процессе компьютерного эксперимента с изменением параметров упаковки сфер (размеры, радиус, количество попыток упаковки сферы – параметры, оказывающие влияние на концентрационные характеристики системы) наблюдается изменение поведения системы проводник-диэлектрик. Представленная технология подбора состава композиционного материала позволяет сэкономить время и ресурсы на натурные эксперименты.*

***Ключевые слова:** композиционный материал, компьютерное моделирование, гранулометрический состав, концентрация, метод «случайных упаковок».*

В настоящий момент технологии производства современных наукоемких изделий все больше ориентируются на использование композиционных материалов.

Идейная сущность композиционного материала заключается в комбинировании объемного содержания компонентов, в результате чего можно получать композиционные материалы с требуемыми параметрами (прочность, плотность, упругость, износостойкость, стойкость к химическим веществам и коррозии, пористость и т. д.) и необходимыми специальными свойствами (деформативные, магнитные, электрические, диэлектрические, радиопоглощающие и др. свойства) в соответствии с дальнейшей сферой их применения.

Данные материалы широко используются в авиации (высоконагруженные детали самолетов), в космической технике (узлы силовых конструкций аппаратов, элементы жесткости), в горной промышленности (шахтное оборудование, буровой инструмент, трубы различного назначения), в военной промышленности, в гражданском строительстве (конструкции высотных сооружений, пролеты мостов) и, конечно же, в автомобилестроении (элементы кузова, термо- и звукоизоляция салона, силовые конструкции, элементы крепления, декоративные панели салона и т. д.). Такой широкий круг использования композиционных материалов обусловлен возможностью получения необходимых свойств при определенных и конкретных условиях, соответственно в процессе производства различных сооружений, элементов конструкции, приборов, устройств, деталей сложных наукоемких изделий мы имеем возможность улучшения качественных показателей при значительном снижении материалоемкости [2].

Математическое моделирование является наиболее удобным и экономически выгодным методом расчета параметров многих композиционных материалов, в том числе и матричного типа (матрица из одного материала и распределенные по объему определенным образом частицы другого вещества), при этом построение математической модели композиционного материала зависит: во-первых, от типа структуры, во-вторых, от набора исследуемых физико-структурных свойств самой композиций [3; 4].

При моделировании композиционных материалов на основании вероятностно-геометрической концепции, образование их структуры представляется

как процесс заполнения объема («случайным» образом) геометрическими элементами близкими по форме и размеру к реальному заполнителю. Имитация распределения заполнителя производится с учетом рассева реальных композиционных материалов [3; 5]. Построение структуры на основе метода случайных упаковок следует рассматривать как результат процесса случайного заполнения объема конечных размеров протекающий во времени. Каждый шаг построения такой структуры имеет эквивалент времени: факт упаковки определенного элемента заполнителя фиксирован во времени. Упаковка сфер, выбрана как наиболее простая и универсальная. Сферы по разработанному алгоритму распределяются в условный контейнер кубической формы (не пересекая плоскостей образующих его стороны), границы которого так же можно задать условиями моделирования. Для удобства расчета в процессе моделирования, пакуемый объем (куб) размещен в первом октанте декартовой системы координат. Универсальность математической модели достигается за счет измерения радиуса сфер в относительных единицах. Т.е. радиус сфер измеряется как доля длины ребра куба (длину можно принять равной любому удобному для расчета числу). В этом случае получаемые структурные характеристики носят относительный характер (к размерам упакованных элементов) [3; 5].

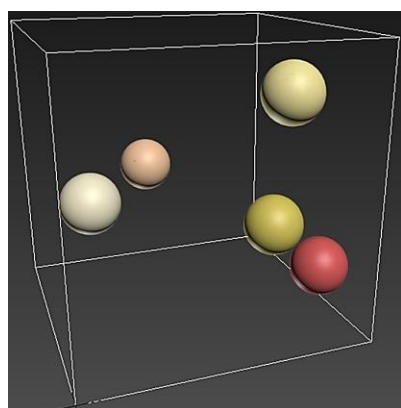
Структурные и концентрационные характеристики рассмотрены с позиции критических явлений – теории перколяции. Основной значимой перколяционной характеристикой является значение критического параметра – порога перколяции/протекания  $p_{кр}$ . При этом можно рассматривать как композиционный материал, отслеживая параметры  $p$  влияющие на его свойства (прочность, теплопроводность, электропроводность и т. п.), так и пористую среду (свойства материала при определенном количестве пор).

При определенном значении  $p_{кр}$  происходит качественное изменение свойств всей среды, за счет объединения отдельных элементов среды с одинаковыми свойствами, но рассредоточенных по объему, в общую область (перколяционный кластер), которая способна обеспечить прохождение направленного процесса (перколяционного процесса).

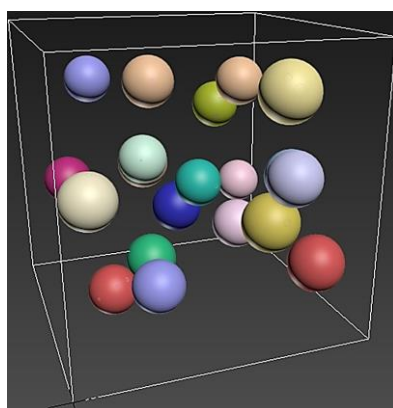
Прогнозируемость параметров основана на исследовании глобального поведения системы, которое довольно сильно отличается в двух зонах  $p < p_{кр}$  и  $p > p_{кр}$ , соответственно изменяющееся при пересечении перколяционного порога (поведение всей системы качественно изменяется при перколяционном переходе) [2; 4].

Переход структуры композиционного материала к состоянию «бесконечного» кластера непосредственно описывается перколяционными задачами теории просачивания (перколяции).

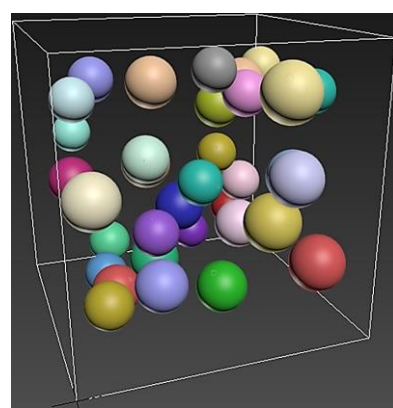
Для определения критической концентрации была создана имитационные модель [5] на основе решеток и математическая модель разработанная на основе метода случайных упаковок и теории перколяции. Подробный анализ концентрационных характеристик представлен в [1]. Процесс моделирования структуры композиционного материала визуализирован в Autodesk 3ds Max. Поэтапное создание структуры, путем подбора концентрационных и гранулометрических соотношений, представлено на рис. 1. Для наглядности визуализации, упаковка (размещение) сфер в заданный объем производится от больших сфер к малым (размер сфер дан в условных единицах, из расчета длины ребра куба 1000 у.е.).



R=100–99 у.е.



R=100–82 у.е.



R=100–72 у.е.

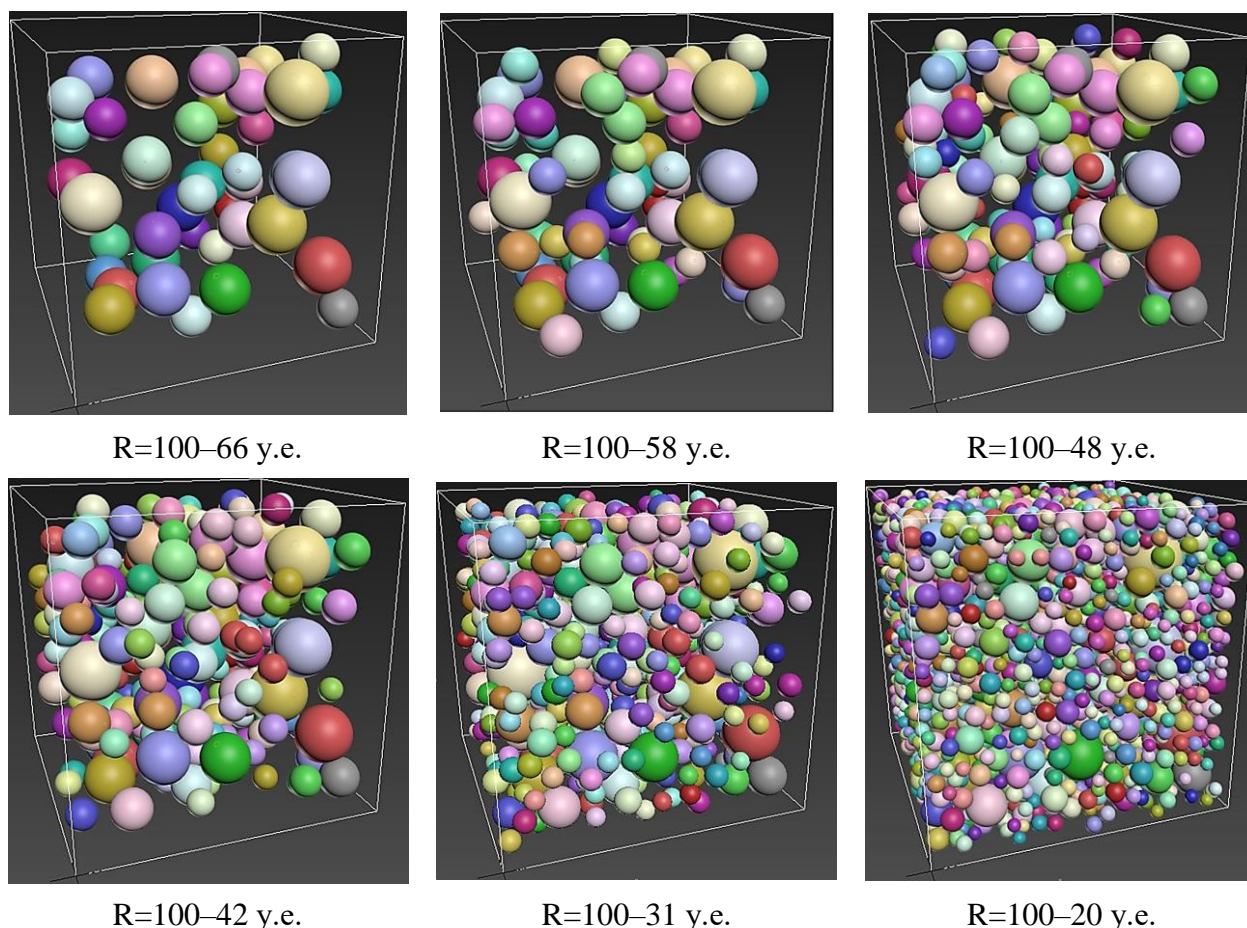


Рис. 1. Поэтапное создание матричной структуры при подборе состава композиционного материала (с указанием интервала радиусов упакованных сфер)

На рис. 1. хорошо видно, что получаемая структура композиционного материала относится к матричному типу, ограничена заданным объемом кубической формы и полностью определяется набором обобщенных координат каждого элемента (сферы) структуры. Таким образом, структуру композиционного материала с подобранным составом, а значит и ожидаемыми свойствами, можно представить как матрицу координат системы.

На основании результатов моделирования могут быть изготовлены детали и элементы конструкций различного назначения с улучшенными техническими характеристиками, получаемыми за счет управления концентрационным составом вещества.

Примером практического применения теории перколяции для исследования свойств композиционного материала может служить математическая модель,

описывающая зависимость критической концентрации заполнителя от гранулометрического состава электропроводного композиционного материала [2; 4]. Сущность определения критической концентрации, в этом случае, состоит в расчете сопротивления гипотетического образца электропроводного композиционного материала в зависимости от объемной концентрации проводящей фазы.

### ***Список литературы***

1. Зарипова И.И. Анализ концентрационных характеристик композиционного материала на основании компьютерного моделирования // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2016. – №10. – С. 45–48.
2. Зарипова И.И. Влияние перколяционного порога на свойства композиционных материалов // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2016. – №3. – С. 13–18.
3. Зарипова И.И. Моделирование процесса формирования структуры композиционного материала матричного типа методом случайных упаковок // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2016. – №3. – С. 35–38.
4. Зарипова И.И. Применение теории перколяции для моделирования структуры композиционного материала на примере бетона // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2014. – №11. – С. 25–30.
5. Зарипова И.И. Компьютерное моделирование структурно-концентрационных характеристик строительных композиционных материалов / И.И. Зарипова, А.В. Илюхин, В.И. Марсов, В.А. Губанова // Автоматизация и управление в технических системах. – 2015. – №4.1.