

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОХАСТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ПРОЦЕССАХ ТРИБОАКТИВАЦИИ

**В.Н. Выровой, профессор, А.Н. Герега, доцент,
Одесская государственная академия строительства и архитектуры**

Аннотация. Предложены методы оценки хаотичности и персистентности двухфазного потока в трибоактиваторе.

Ключевые слова: имитационная модель, двухфазный поток, мезоскопическая асимптотика, размерность Реньи, мультифрактал, кластерообразование.

Введение

Физико-химические технологии активации полиминеральных и полидисперсных систем оказывают существенное влияние на их структурные особенности и реактивную способность [3]. Среди методов, активно используемых для повышения качества строительных материалов, заметное место занимает механическая активация вяжущего.

Прогресс последних десятилетий в изучении этих явлений достигнут на пути осмысления процессов самоорганизации вещества, исследования возможностей влияния на эволюцию его структуры. Изучение многофакторных процессов кластерообразования, протекающих в трибоактиваторах, – сложная задача, требующая комплексного подхода. Одной из составляющих этих исследований является имитационное моделирование.

Современная ситуация

В дисперсной системе, как известно, кластерообразование происходит под действием электромагнитных и гравитационных сил [4, 5]. На процесс влияют концентрация, размеры и форма частиц, полидисперсность состава, а также интенсивность перемешивания частиц в потоке, взаимодействие со стенками конструкции. Это делает экспериментальное изучение кластеров, образующихся в потоке, достаточно сложным: исследователи сталкиваются с невозможностью получения необходимого диапазона структурных параметров, а также с отсутствием надёжной методики их диагностики [6].

Аналитически описать столь многофакторный процесс тоже непросто: современные сведения о фрактальных кластерах, во многом базирующиеся на теоретических моделях, не всегда согласуются с экспериментом [6 – 8]. Одна из причин заключается в том, что в аналитических и численных исследованиях заранее фиксируется характер процесса агрегации, тип движения кластеров и частиц, вероятность процессов кластерообразования [6], а также максимально упрощается или игнорируется описание взаимодействия с конструкцией. Эти проблемы инициируют исследовательскую работу по совершенствованию моделей и теорий, по трансформации приёмов и методов исследования, созданию оптимальных технологий.

В такой ситуации моделирование является полезным методом исследования. Проведение модельных экспериментов интуитивно привлекательно, благодаря их сравнительной простоте т.к. не предполагает создания теории изучаемого явления, не отражает реальное положение вещей. Имитационное моделирование предлагает методологию решения проблем по изучению подлинных обстоятельств, которая позволит установить тенденции развития явлений и укажет пути поиска корректных решений уже вне, в продолжение, модели.

Модель кластерообразования

Имитационно-статистическая компьютерная модель создана для изучения процессов кластерообразования в специфических условиях

трибоактивации с целью установления количественных критериев корреляции между характеристиками потока и свойствами кластеров. В предложенной модели, во многом обобщающей работы [9, 10], последовательно устранены описанные выше характерные для моделей такого типа недостатки.

В основу модели положены максимально общие предположения, основанные на анализе физической ситуации, учёте особенностей функционирования и конструкции трибоактиваторов. Она позволяет исследовать структуру и свойства модельных кластеров, влияние на них дисперсной фазы, воздействие конструкции, в которой происходит движение, а также роль взаимодействия частиц и влияние параметров хаотического потока.

Модель представляет собой алгоритм перемещения и взаимодействия твёрдых частиц между собой и со стенками конструкции, базируется на физических представлениях, но имеет, преимущественно, геометрический характер. Основные положения модели: частицы движутся в трёхмерном криволинейном канале; имеют нормальное распределение по размерам; скорости частиц и образующихся кластеров обладают детерминированной и случайной составляющими; взаимодействие между телами возникает на расстоянии, зависящем от их массы; распад кластеров определяется величиной механических напряжений.

Модельные эксперименты показали, что преобладающий в потоке тип кластеров может быть определён а priori: если отношение средних значений переносной и случайной составляющих скорости двухфазного потока превышает значение 0,575, то практически все образующиеся в системе кластеры асимметричны, а если меньше, чем 0,425, то вероятность появления асимметричных модельных кластеров стремится к нулю.

Полученные в модельных экспериментах кластеры представляют собой мультифракталы. Это показано стандартным способом – расчётом спектра размерностей Реньи [11].

В модели рассчитывается клеточная размерность. Для её определения использован объёмный аналог палетки, реализованный программно. Расчёт старших размерностей Реньи, требующий определения вероятности

того, что в ячейке палетки содержится исследуемый объект, осуществлён с помощью метода Монте-Карло.

В работе специально исследовался вопрос определения границ промежуточной асимптотики. Выяснилось, что границы мезоскопической области для различных размерностей спектра неодинаковы: наиболее чувствительными к потере объектом статистического самоподобия оказались информационная и максимальная размерности, именно в их границах рассчитывались остальные пять размерностей [12].

Структура и плотность кластеров в модели чувствительны к виду распределения по размерам частиц входящего потока. Анализ экспериментов показал, что кластеры обладают максимальной плотностью, если частицы потока имеют гауссово распределение по размерам.

Взаимодействие потока с конструкцией

Взаимодействие двухфазного потока со стенками конструкции – не только существенная часть движения, но и фактор, позволяющий по оставленным отпечаткам определить некоторые характеристики потока и образующихся кластеров. По сути, такой подход реализует попытку воссоздания процесса по его «теням», при этом упрощая решение задачи: позволяя, во-первых, осуществить переход от динамического потока к стационарному пятну и, во-вторых, снизить размерность исследуемого объекта.

Это возможно благодаря наличию (при определённых условиях) корреляции между характеристиками потока и отпечатков кластеров на стенках конструкции, которая, в частности, выражается в связи между персистентностью первого и фрактальностью вторых: предлагаемый в модели подход основан на определении показателя Хёрста по размерности отпечатка [11, 13].

Задачи восстановления свойств потока требуют детального изучения процесса его взаимодействия с конструкцией. Естественно предположить, что при моделировании пятна следует учитывать размеры кластеров, взаимодействующих со стенками канала. Однако модельные эксперименты показали, что наиболее информативными, наиболее чувстви-

тельными к особенностям потока являются «рисунки» отпечатков, которые оставляли точки центра масс кластеров.

В триботехнических устройствах поток многократно проходит над ограничивающей поверхностью, а значит, отпечатки эволюционируют. При этом изменяется уровень информативности их характеристик, качество восстановления свойств порождающего потока. Критерием того, что модельный отпечаток сформировался для анализа, является приобретение им мультифрактальных свойств. Экспериментально показано, что площадь заполнения стенки конструкции, при котором «рисунок» отпечатков представляет собой мультифрактал с корректно определяемым спектром размерностей Реньи, составляет 25 – 45%.

Установлено, что управляющим параметром, изменяющим величину показателя Хёрста, служит описанное выше отношение скоростей: если оно меньше величины 0,425 – показатель Хёрста $H > 0,5$ и движение персистентно; если больше, чем 0,575, то наоборот.

Стохастичность потока

Наличие хаотической динамики тесно связано с неустойчивостью траекторий системы. В модели определялась асимптотическая устойчивость траекторий по Ляпунову [14]. Показано, что те же значения отношения скоростей, которые обуславливают наличие или отсутствие тенденций в развитии потока, а также тип преобладающих в модельном потоке кластеров [12] определяют и знаки ляпуновских показателей. Если отношение переносной и случайной составляющих скорости газового потока превышает величину 0,575, то показатели Ляпунова в модели определяются сигнатурой $< 0, -, - >$, что, как известно, свидетельствует о наличии предельного цикла в поведении расстояния между соседними траекториями, а если меньше 0,425, то сигнатурой $< +, 0, - >$, что предполагает наличие странного аттрактора [14]. В промежутке выраженной тенденции нет.

Выводы

В модели предложены способы описания потоков и кластеров в условиях действия центробежных сил, установлены особенности определения мультифрактальности и описа-

ния взаимодействия потока с конструкцией. Используемые в имитационной модели статистические методы расширяют представление о протекающих процессах, создают предпосылки для прогнозирования их параметров.

Литература

1. Дорофеев В.С., Выровой В.Н. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций. – Одесса, 1998. – 165 с.
2. Хайнике Г. Трибохимия. – М.: Мир, 1987. – 584 с.
3. Барабаш И.В. Механохимическая активация минеральных вяжущих веществ. – Одесса: Астро, 2002. – 100 с.
4. Зонтаг Г., Штенге К. Коагуляция и устойчивость дисперсных систем. – Л.: Химия, 1973 – 152 с.
5. Левич В.Г., Вдовин Ю.А., Мямлин В.А. Курс теоретической физики, т.2. – М.: Наука, 1971. – 936 с.
6. Михайлов Е.Ф., Власенко С.С. Образование фрактальных структур в газовой фазе. //УФН. – 1995. – т. 165. – Вып. 3. – С. 263-283.
7. Жюльен Р. Фрактальные агрегаты. //УФН. – 1989. – Т.157. – Вып. 2. – С. 339 – 357.
8. Смирнов Б.М. Фрактальные кластеры // УФН. – 1986. – Т. 149. – Вып. 2. – С. 177 – 200.
9. Гергега А.Н. Иерархическая модель кластерообразования в многоуровневой системе // Вестник ОГАСА. – 2003. – № 12. – С. 88 – 91.
10. Асланов А.М., Гергега А.Н., Лозовский Т.Л. Две модели стохастических процессов в центробежных фильтрах // ЖТФ – 2006. – Т. 76. – Вып. 6. – С. 134 – 135.
11. Федер Е. Фракталы. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
12. Асланов А.М., Ботнарь К.В., Гергега А.Н. О корреляции свойств потока и кластеров / ИСТ. – Одесса, 2006. – С. 105 – 109.
13. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – М.: ИКИ, 2002. – 656 с.
14. Кузнецов С.П. Динамический хаос. – М.: Наука, 1985. – 202 с.

Рецензент: И.П. Гладкий, профессор, к.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 13 июля 2009 г.

